

RAPPORT

Bundeling veiligheidsopgave

Dijkversterking Culemborgse Veer - Beatrixsluis

Klant: Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden

Referentie: SLD-RHD-TM-CUB-RP-TM-0008

Status: S0/P01.01

Datum: 22 november 2019



HOOGHEEMRAADSCHAP
DE STICHTSE
RIJNLANDEN



Royal
HaskoningDHV
Enhancing Society Together

HASKONINGDHV NEDERLAND B.V.

Laan 1914 no.35
3818 EX AMERSFOORT
Water

Trade register number: 56515154

+31 88 348 20 00 **T**
+31 33 463 36 52 **F**
info@rhdhv.com **E**
royalhaskoningdhv.com **W**

Titel document: Bundeling veiligheidsopgave

Ondertitel:

Referentie: SLD-RHD-TM-CUB-RP-TM-0008

Status: P01.01/S0

Datum: 22 november 2019

Projectnaam:

Projectnummer: BF5981

Auteur(s): J.A.W. Hockx, G.J. van Boven, M. Vollering

Opgesteld door: G.J van Boven, M. Vollering

Gecontroleerd door: J.A.W. Hockx

Datum/paraaf: 30-08-2019

Goedgekeurd door: E. Arnold

Datum/paraaf: 12-09-2019

Classificatie

Projectgerelateerd



Disclaimer

No part of these specifications/printed matter may be reproduced and/or published by print, photocopy, microfilm or by any other means, without the prior written permission of HaskoningDHV Nederland B.V.; nor may they be used, without such permission, for any purposes other than that for which they were produced. HaskoningDHV Nederland B.V. accepts no responsibility or liability for these specifications/printed matter to any party other than the persons by whom it was commissioned and as concluded under that Appointment. The integrated QHSE management system of HaskoningDHV Nederland B.V. has been certified in accordance with ISO 9001:2015, ISO 14001:2015 and ISO 45001:2018.

Inhoud

1	Inleiding	1
1.1	Dijkversterking Culemborgse veer - Beatrixsluis	1
1.2	Doel van de rapportage	1
1.3	Leeswijzer	1
2	Uitgevoerde veiligheidsstudies	3
2.1	Algemeen	3
2.2	POV Centraal Holland (2015)	3
2.3	Veiligheidsanalyse Centraal Holland Aanscherping toetsresultaat (2017)	3
2.4	Oostelijke voorhavendijk derde kolk Beatrixsluis (2018)	3
2.5	Nadere beoordeling Honswijkerwaard (2019)	4
3	Gehanteerde uitgangspunten	5
3.1	Uitgangspunten voor bundeling	5
3.2	Factsheets per dijkvak	5
4	Stabiliteit binnenwaarts (STBI)	6
4.1	Inleiding	6
4.2	Gehanteerde aanpak gevoeligheidsanalyse	6
4.3	Gevoeligheidsanalyse	8
4.3.1	Profiel S44.213	8
4.3.1.1	Controle geometrie dwarsdoorsnede s44.213	9
4.3.1.2	Controle bodemopbouw	10
4.3.1.3	Berekening opbarstveiligheid	10
4.3.1.4	Resultaten gevoeligheidsanalyse dwarsdoorsnede s44.213	10
4.3.2	Profiel S44.231	11
4.3.2.1	Controle geometrie dwarsdoorsnede s44.231	12
4.3.2.2	Controle bodemopbouw	12
4.3.2.3	Berekening opbarstveiligheid	13
4.3.2.4	Resultaten gevoeligheidsanalyse dwarsdoorsnede s44.231	13
4.3.3	Profiel S44.266	14
4.3.3.1	Controle geometrie dwarsdoorsnede s44.266	15
4.3.3.2	Controle bodemopbouw	15
4.3.3.3	Berekening opbarstveiligheid	16
4.3.3.4	Resultaten gevoeligheidsanalyse dwarsdoorsnede s44.266	16
4.4	Conclusie gevoeligheidsanalyse	17
4.5	Assemblage beoordeling macrostabiliteit binnenwaarts	18

5	Stabiliteit buitenwaarts (STBU)	21
5.1	Inleiding	21
5.2	Assemblage	21
6	Piping (STPH)	22
6.1	Inleiding	22
6.2	Gehanteerde uitgangspunten per beoordeling	22
6.3	Kwelweglengte tekorten	23
6.4	Assemblage beoordelingen	24
7	Hoogte (HT)	26
7.1	Inleiding	26
7.2	Gehanteerde uitgangspunten per beoordeling	26
7.3	Assemblage beoordelingen	27
8	Conclusie	29

1 Inleiding

1.1 Dijkversterking Culemborgse veer - Beatrixsluis

In het voorjaar van 2019 is het Hoogheemraadschap De Stichtse Rijnlanden gestart met de verkenningsfase van het dijkversterkingsproject Culemborgse veer - Beatrixsluis (CUB): het derde in een rij van zes deelprojecten die deel uitmaken van het project Sterke Lekdijk: de versterking van de noordelijke Lekdijk tussen Amerongen en Schoonhoven. Het dijktraject loopt van de veerweg van het Culemborgse veer in het oosten tot aan de Beatrixsluis van het Lekkanaal in het westen, van dijkpaal 204 tot 306.

Het plan van aanpak van voor deze verkenningsfase is opgesteld door Royal HaskoningDHV (RHDHV) met Fugro en het projectteam van HDSR.

De afgelopen jaren zijn er vier veiligheidsstudies uitgevoerd waarmee de waterveiligheid van het dijktraject Culemborgse veer – Beatrixsluis (CUB) in kaart is gebracht. Het gaat dan om de volgende studies:

- Arcadis, 23 december 2015, Detailtoetsing A-keringen van de Nederrijn- en lekdijk, Eindrapportage ten behoeve van Dijkversterking Centraal Holland, projectnummer C03011.000406
- Neijenhuis P. et al, 30 juni 2017, Veiligheidsanalyse Centraal Holland, Aanscherping toetsresultaat noordelijke Lekdijken en voormalige C-Keringen – Uitwerking Onderzoeksplan
- Ter Horst, W. et.al, september 2018, Veiligheidsanalyse voorhavendijk Beatrixsluis, HKV, PR3845.10
- Schoemaker, M, et.al, 5 februari 2019, Beoordeling CUB vak Honswijkerwaard, RHDHV, BF5981WATNT1902051036

Op basis van bovenstaande vier studies is de huidige scope bepaald bij aanvang van de verkenning van CUB. In deze vier rapportages worden echter steeds verschillende uitgangspunten gehanteerd bij de bepaling van de waterveiligheid. Hierdoor is een eenduidige conclusie met betrekking tot de veiligheidsopgave moeilijk te trekken. Deze onduidelijkheid wordt mede veroorzaakt doordat de veiligheidsopgave niet eenduidig is vastgelegd in één omvattende rapportage maar is opgebouwd uit vier afzonderlijke studies.

Om tot een afgebakende scope van de veiligheidsopgave te komen, worden daarom de vier beschikbare studies in deze rapportage gebundeld tot één heldere rapportage. In deze samenvattende rapportage van de reeds uitgevoerde veiligheidsstudies van de dijk geven we aan welke dwarsprofielen per faalmechanisme zijn beschouwd in de verschillende studies en welke eigenschappen van de waterkering leiden tot een faalmechanisme.

1.2 Doel van de rapportage

De vier studies die ten grondslag liggen aan de huidige veiligheidsopgave worden nader beschouwd. Dit is voor een deel al uitgevoerd en opgenomen in het PvA voor de verkenningsfase maar nog niet onderbouwd in een rapportage. Het doel is om de resultaten van de verschillende dijkvakken goed te documenteren waarbij ook de belangrijkste uitgangspunten worden vastgelegd zoals bijvoorbeeld het gehanteerde zichtjaar en het gehanteerde ontwerpinstrumentarium. Verder wordt een kaart opgenomen waarin per dijkvak de resultaten voor de hoofd faalmechanismen van de verschillende studies worden samengevoegd.

1.3 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 is een kort overzicht gegeven van de 4 uitgevoerde veiligheidsstudies. In hoofdstuk 3 is een overzicht gegeven van de gehanteerde uitgangspunten voor de bundeling van de veiligheidsopgave.

Vervolgens zijn in hoofdstuk 4, 5, 6 en 7 respectievelijk de faalmechanismen macrostabiliteit binnenwaarts, macrostabiliteit buitenwaarts, piping en hoogte beschouwd. Tenslotte zijn in hoofdstuk 8 de conclusies opgenomen. Daarnaast zijn in bijlage A de per dijkvak opgestelde factsheets opgenomen.

2 Uitgevoerde veiligheidsstudies

2.1 Algemeen

De afgelopen jaren zijn vier veiligheidsstudies uitgevoerd waarmee de waterveiligheid van het dijktraject Culemborgse veer – Beatrixsluis (CUB) in kaart is gebracht. Het gaat dan om de volgende studies:

- Arcadis, 23 december 2015, Detailtoetsing A-keringen van de Nederrijn- en lekdijk, Eindrapportage ten behoeve van Dijkversterking Centraal Holland, projectnummer C03011.000406
- Neijenhuis P. et al, 30 juni 2017, Veiligheidsanalyse Centraal Holland, Aanscherping toetsresultaat noordelijke Lekdijken en voormalige C-Keringen – Uitwerking Onderzoeksplan
- Ter Horst, W. et.al, september 2018, Veiligheidsanalyse voorhavendijk Beatrixsluis, HKV, PR3845.10
- Schoemaker, M, et.al, 5 februari 2019, Beoordeling CUB vak Honswijkerwaard, RHDHV, BF5981WATNT1902051036

Hieronder wordt kort ingegaan op de inhoud van bovengenoemde studies.

2.2 POV Centraal Holland (2015)

De beoordeling van het traject Culemborgse veer – Beatrixsluis is in 2015 uitgevoerd in het kader van de POV Centraal Holland (Arcadis, 23 december 2015). De beoordeling is uitgevoerd voor het zichtjaar 2023. Grote delen van het traject zijn hierbij afgekeurd op de faalmechanismen piping en macrostabiliteit binnenwaarts. Een klein gedeelte van het traject is afgekeurd op het faalmechanisme hoogte. Het faalmechanisme macrostabiliteit buitenwaarts is zeer beperkt beschouwd. De overige faalmechanismen zijn niet beschouwd.

2.3 Veiligheidsanalyse Centraal Holland Aanscherping toetsresultaat (2017)

Naar aanleiding van de aanbevelingen uit de beoordeling van POV Centraal Holland (Arcadis, 2015) en op aangeven van experts, betrokken bij de ontwikkeling van het Wettelijk Beoordelingsinstrumentarium (WBI), is vervolgens in 2017 nader onderzoek uitgevoerd (Neijenhuis, P. et al, 30 juni 2017) op de faalmechanismen macrostabiliteit binnenwaarts en piping. Hierbij zijn in de beoordeling zoveel mogelijk de nieuwe inzichten en ontwikkelingen vanuit het WBI meegenomen. Voor de overige faalmechanismen, macrostabiliteit buitenwaarts, stabiliteit voorland, zettingsvloeiing, bekleding, microstabiliteit en niet waterkerende objecten (NWO's) is geen nader onderzoek uitgevoerd. Hierbij moet worden opgemerkt dat de buitenwaartse macrostabiliteit niet in detail is getoetst.

2.4 Oostelijke voorhavendijk derde kolk Beatrixsluis (2018)

De oostelijke voorhavendijk, aan het westelijke uiteinde van het normtraject 44-1 heeft een lengte van circa 800 meter. Rijkswaterstaat heeft de Beatrixsluis uitgebreid met een nieuwe sluis, ten oosten van de bestaande sluis. Daartoe is de oostelijke voorhavendijk verplaatst. Het beheer van de voorhavendijk wordt door Rijkswaterstaat overgedragen aan HDSR.

De oostelijke voorhavendijk is in 2017 ontworpen met een levensduur van 50 jaar. In het kader van de overdracht van Rijkswaterstaat naar HDSR is onderzocht of verwacht mag worden dat deze waterkering tot het zichtjaar 2067 aan de gestelde veiligheidsnorm voldoet. Daartoe is een beoordeling conform WBI2017 uitgevoerd (Ter Horst, W. et. al, september 2018). Dit is overigens geen formele wettelijke beoordeling, maar een analyse ten behoeve van de overdracht van het beheer. Hieruit blijkt dat de voorhavendijk niet voldoet aan de gestelde veiligheidseisen in 2067 voor de faalmechanismen macrostabiliteit binnenwaarts en buitenwaarts. De stabiliteitsfactor is er lager dan vereist. Voor de overige faalmechanismen voldoet de waterkering. De voorhavendijk heeft behoorlijke overhoogte: met name voor

de graserosie kruin en binnentalud wordt ruim aan de eis voldaan. In de beoordeling wordt aanbevolen om de resultaten voor stabiliteit nogmaals scherp te beschouwen, aangezien niet wordt voldaan aan de veiligheidsnorm.

De opstellers van de rapportage geven aan dat op basis van de geometrie van de dijk weinig problemen met macrostabiliteit verwacht mogen worden. De waterkering bezit immers een flauw buitentalud (1 op 4), een zeer brede binnenberm en een zeer flauw benedenbeloop van het binnentalud (1 op 10). Uitgangspunt voor de scope is dat het beheer van de voorhavendijk door Rijkswaterstaat wordt overdragen aan het waterschap. De benodigde middelen om de veiligheidsopgave te realiseren worden bij overdracht door Rijkswaterstaat betaald.

2.5 Nadere beoordeling Honswijkerwaard (2019)

Uit de POV Centraal Holland (Arcadis, 2015) en het nadere onderzoek dat in 2017 werd uitgevoerd, bleek dat een gedeelte van 1,1 km van het dijktraject van CUB nagenoeg aan de norm voldoet. Slechts zeer lokaal voldoet het niet aan de faalmechanismen. Dit dijktraject ligt langs de Honswijkerwaard, tussen de dijkpalen 246 en 259, en is in 2019 nader beoordeeld in een toetsingsproject. In dit toetsingsproject zijn alle goedgekeurde vakken van Centraal Holland voor het de zichtjaren 2023 en 2073 opnieuw beoordeeld (Schoemaker, M, et.al, 5 februari 2019). In deze beoordeling is geconcludeerd dat het traject is goedgekeurd op hoogte en macrostabiliteit binnenwaarts voor zowel de zichtjaren 2023 als 2073. Het traject is afgekeurd op piping en macrostabiliteit buitenwaarts, zowel in 2023 als 2073.

3 Gehanteerde uitgangspunten

3.1 Uitgangspunten voor bundeling

Voor het opstellen van deze bundeling tot veiligheidsanalyse worden de volgende uitgangspunten gehanteerd:

- Alleen bestaande gegevens worden gebruikt. Nieuw grondonderzoek (bv. Inpijn-Blokpoel) of inmetingen van geometrie worden niet meegenomen.
- De uitgangspunten waarmee de analyse van de verschillende studies is uitgevoerd worden gerapporteerd en vergeleken met elkaar.
- Verkennende berekeningen worden uitgevoerd op basis van bestaande rekenfiles.

Daarnaast is het belangrijk om ook enkele verkennende berekeningen uit te voeren waarbij ook een beperkte gevoeligheidsanalyse wordt uitgevoerd om zo de dominante uitgangspunten te kunnen bepalen die ervoor zorgen dat een faalmechanisme onvoldoende wordt beoordeeld.

3.2 Factsheets per dijkvak

In bijlage A is per dijkvak een factsheet opgesteld waarin de kenmerken per dijkvak en kort de resultaten uit de veiligheidsanalyse van POV Centraal Holland en de aanvullende veiligheidsanalyse 2017 zijn opgenomen.

De dijkvakindeling die is gehanteerd tijdens de POV Centraal Holland is overgenomen uit de derde toetsronde. In de aanvullende veiligheidsanalyse 2017 is deze op sommige plaatsen nader opgedeeld. De aanvullende beoordeling kijkt voor de faalmechanismen hoogte, macrostabiliteit en piping nogmaals naar de toetsresultaten uit de POV. Om inzichtelijk te maken wat de beoordeling per dijkvak is geweest is in de bijlage een overzicht opgenomen per dijkvak uit de POV Centraal Holland. Hierin zijn de verschillende resultaten naast elkaar gezet. Naast de beoordeling van de directe faalmechanismen zijn wordt ook een bovenaanzicht van het vak met dijkpaalnummers gegeven en bijzonderheden van het vak vermeld.

Hoogte

Met betrekking tot de hoogtetoets is het berekende hoogtetekort grafisch weergegeven. Voor een aantal dijkpalen is in de POV Centraal Holland hier het hoogtetekort bepaald. Vervolgens is tussen deze punten een lineaire interpolatie gedaan om een idee te krijgen bij hoe dit voor de rest van het dijkvak eruitziet. Er zijn geen resultaten van de aanvullende analyse 2017 gepresenteerd omdat ten tijde van deze analyse er nog geen geschikte HR-database beschikbaar was om een volledige beoordeling voor hoogte uit te voeren.

Piping

Met betrekking tot Piping zijn de resultaten van de POV Centraal Holland afgezet tegen de gevoeligheidsanalyse uit de aanvullende analyse 2017.

Macrostabiliteit

In tabelvorm is ook de berekende stabiliteitsfactor (inclusief eis) voor macrostabiliteit opgenomen in de factsheets. Voor de POV Centraal Holland geldt deze factor per dijkvak. Indien bij de aanvullende analyse 2017 meerdere factoren staan vermeld betekent dit dat het dijkvak op basis van aanvullend onderzoek of nieuwe inzichten nader is opgeknijpt.

4 Stabiliteit binnenwaarts (STBI)

4.1 Inleiding

Een groot deel van het deeltraject CUB is in de voorgaande beoordelingen afgekeurd op het faalmechanisme stabiliteit binnenwaarts. In dit hoofdstuk wordt een overzicht gegeven van de resultaten van de uitgevoerde voorgaande beoordelingen. Daarnaast is een gevoeligheidsanalyse uitgevoerd van de binnenwaartse macrostabiliteit. Hierbij zijn een drietal berekeningen uit de aanvullende beoordeling 2017 geanalyseerd. De drie berekeningen uit de aanvullende beoordeling 2017 zijn opnieuw uitgevoerd met verschillende grondparametersets en met elkaar vergeleken om te zien waar de aanvullende beoordeling eventueel kan worden aangescherpt.

4.2 Gehanteerde aanpak gevoeligheidsanalyse

Om de dominante uitgangspunten te kunnen bepalen die er voor zorgen dat het faalmechanisme binnenwaartse macrostabiliteit als onvoldoende wordt beoordeeld zijn enkele verkennende berekeningen uitgevoerd waarbij een beperkte gevoeligheidsanalyse van de grondparameters is uitgevoerd. Voor deze verkennende stabiliteitsberekeningen is gebruik gemaakt van bestaande rekenfiles (D-Geo Stability). Het in beeld brengen van de gehanteerde uitgangspunten en grondparameters bleek echter een uitdaging. Dit werd veroorzaakt door de volgende punten:

- Gedurende de looptijd van de verschillende studies (2015-2018) zijn steeds nieuwe ervaringen opgedaan op het gebied van het ontwerpen op basis van ongedraineerde sterkte. Dit resulteert in zeer uiteenlopende werkwijzen van de verschillende stabiliteitsberekeningen.
- Met de voorgaande en huidige versie van D-Geo Stability (recentste versie is 18.1) is het moeilijk om tijdens de verschillende ontwerpomstandigheden de spanningstoestand in de ondergrond te schematiseren. Hiervoor zijn door de verschillende opstellers van de 4 rapporten verschillende spreadsheets ontwikkeld om de spanningstoestand van de ondergrond te berekenen. Deze spreadsheets genereren vervolgens invoer voor een D-Geo Stability berekening. De opgestelde spreadsheets zijn echter zeer complex opgezet en niet controleerbaar en reproduceerbaar voor derden.
- Onduidelijk is hoe de kwaliteitsborging van deze spreadsheets is vastgelegd.

Om toch op basis van de bestaande stabiliteitsberekeningen een indruk te kunnen krijgen wat de invloed van de gehanteerde uitgangspunten is op binnenwaartse stabiliteit is als uitgangspunten gehanteerd dat de spanningssituatie van de verschillende grondlagen die in de bestaande berekening is ingevoerd (gebaseerd op verschillende spreadsheets) als correct wordt beschouwd. De gehanteerde spanningssituatie en grondparameters worden daarom niet nader beschouwd. Uit een nadere analyse van de beschikbare berekeningen van de Voorhavendijk Beatrixsluis is echter gebleken dat de berekende spanningssituatie van de grondlagen niet correct is uitgevoerd. Bij de beschouwing van de dit gedeelte wordt dit nader uitgewerkt.

De stabiliteitsberekeningen van de drie dwarsprofielen worden nader beschouwd aan de hand van onderstaande onderdelen:

- Welke sonderingen zijn gehanteerd bij het opstellen van de grondopbouw van een dwarsprofiel
- Geometrie van de dijk op basis van het meest recente hoogtebestand AHN3
- Gehanteerde freatische lijn en stijghoogten in zandlagen
- Treedt opdrijven of opbarsten op van de deklaag
- Wordt het correcte glijvlakmodel toegepast

Om een indruk te krijgen met betrekking tot de gevoeligheid van de gehanteerde sterkteparameters zijn ook aanvullende berekeningen gemaakt met een aangepaste grondparameterset. Hierbij zijn de volgende parametersets gehanteerd:

- Standaard grondparameterset conform de Schematiseringshandleiding Macrostabiteit. Deze standaard laagkarakteristieke grondparameters mogen worden toegepast in heel Nederland en zijn daarom zeer conservatief (parameterset 1).
- Grondparameterset die is gehanteerd in de beoordeling van de Voorhavendijk Beatrixsluis (parameterset 2). Dit is de meest recente proevenverzameling die voor een (deel) van het dijktraject is opgesteld.

In de gevoeligheidsanalyse zijn alleen de ongedraineerde parameters gewijzigd. De gedraineerde parameters zijn niet veranderd ten opzichte van de originele berekeningen. De berekeningen van de gevoeligheidsanalyse met een andere parameterset zijn uitgevoerd in de D-Geo Stability 18.1 met het glijvlakmodel Spencer. In de gevoeligheidsanalyse is het volumegewicht van de grondlagen niet gewijzigd.

Parameterset 1 (Schematiseringshandleiding Macrostabiteit)

In onderstaande tabellen zijn de ongedraineerde en gedraineerde parameters van parameterset 1 weergegeven. De in deze tabellen gehanteerde volumegewichten van de grondlagen zijn gelijk aan de oorspronkelijk gehanteerde volumegewichten en dus niet afkomstig uit de schematiseringshandleiding macrostabiteit.

Tabel 4.1: Laagkarakteristieke ongedraineerde parameters conform schematiseringshandleiding macrostabiteit

Materiaal	Volumegewicht	S	m	POP
	[kN/m ³]	[-]	[-]	[kN/m ³]
Klei boven veen (Naaldwijk klei diep)	17.4	0.22	0.8	7
Veen (Hollandveen)	10.6	0.28	0.8	1
Veen kleiig (Hollandveen)	11.4	0.28	0.8	1
Klei onder veen (Naaldwijk klei diep)	15.3	0.22	0.8	7

Tabel 4.2: Gedraineerde parameters uit de originele berekeningen

Materiaal	Volumegewicht	Phi
	[kN/m ³]	[°]
Dijksmateriaal klei	18.8	18.8
Dijksmateriaal zand	18/20	18/20
Toplaag klei	18.8	18.8
Zand tussenlaag	17/19	17/19
Zand kleiig	17/19	17/19
Zand Pleistoceen	18/20	18/20

Parameterset 2 (Voorhavendijk Beatrixsluis)

In onderstaande tabellen zijn de ongedraineerde en gedraineerde parameters van parameterset 2 weergegeven. De in deze tabellen gehanteerde volumegewichten van de grondlagen zijn gelijk aan de oorspronkelijk gehanteerde volumegewichten en dus niet afkomstig uit de schematiseringshandleiding macrostabiliteit.

Tabel 4.3: Laagkarakteristieke ongedraineerde parameters conform rapportage Voorhavendijk Beatrixsluis

Materiaal	Volumegewicht	S	m	POP
	[kN/m ³]	[-]	[-]	[kN/m ³]
Klei boven veen	17,4	0,28	0,8	10
Veen	10,6	0,34	0,8	10
Veen kleiig	11,4	0,27	0,8	10
Klei onder veen	15,3	0,24	0,8	10

Tabel 4.4: Gedraineerde parameters uit de originele berekeningen

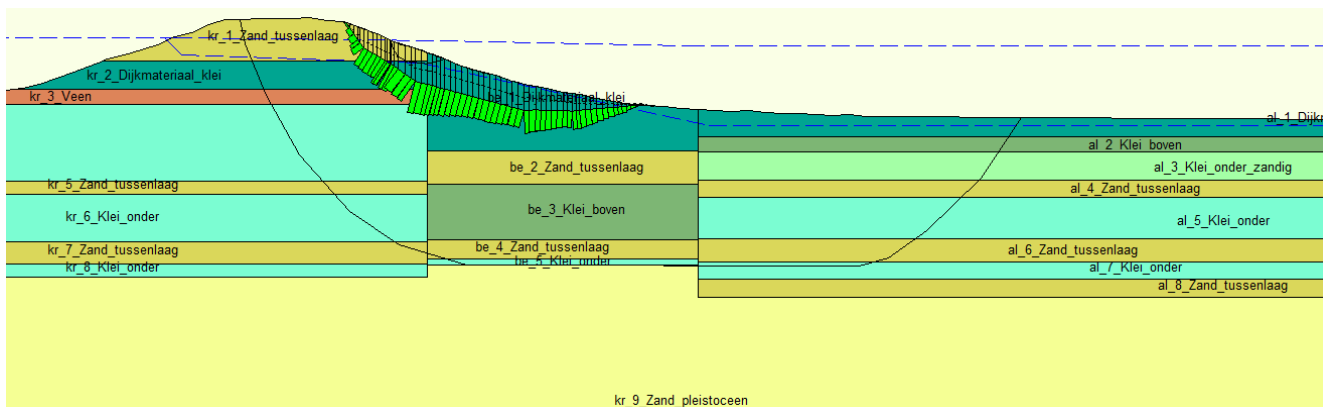
Materiaal	Volumegewicht	Phi
	[kN/m ³]	[°]
Dijksmateriaal kei	18,8	31,6
Dijksmateriaal zand	18/20	26,1
Toplaag klei	18,8	31,6
Zand tussenlaag	17/19	26,1
Zand Kleiig	17/19	26,1
Zand Pleistoceen	18/20	28,6

4.3 Gevoeligheidsanalyse

De gevoeligheidsanalyse voor de binnenwaartse macrostabiliteitsberekeningen is uitgevoerd voor 3 dwarsprofielen. Hierbij zijn 2 profielen (dwarsprofiel 213 en 231) gekozen die zijn goedgekeurd in de aanvullende beoordeling 2017. Daarnaast is dwarsprofiel 266 nader beschouwd als profiel dat niet voldoet in de laatste beoordeling 2017. De profielen zijn zodanig gekozen dat deze enigszins geografisch gelijkmatig zijn verdeeld over het dijktraject. Daarnaast is minimaal één profiel gekozen dat niet voldoet en één profiel dat wel voldoet aan de geëiste stabiliteitsfactor. In de gevoeligheidsanalyse zijn geen aanpassingen aan de hydraulische randvoorwaarden gedaan. Hierbij zijn de oorspronkelijke waarden gehanteerd. De resultaten van de verschillende analyses zijn in deze paragraaf beschreven.

4.3.1 Profiel S44.213

De originele berekening uit de aanvullende beoordeling is uitgevoerd in D-Geo Stability versie 16.2.1.4. De berekening is ingeladen in de meeste recente versie D-Geo Stability versie 18.1 en opnieuw berekend.



Figuur 4-1: Glijvlak in originele berekening dwarsdoorsnede 213

De berekende stabiliteitsfactor voor dwarsprofiel s44.213 is gelijk aan 1.52

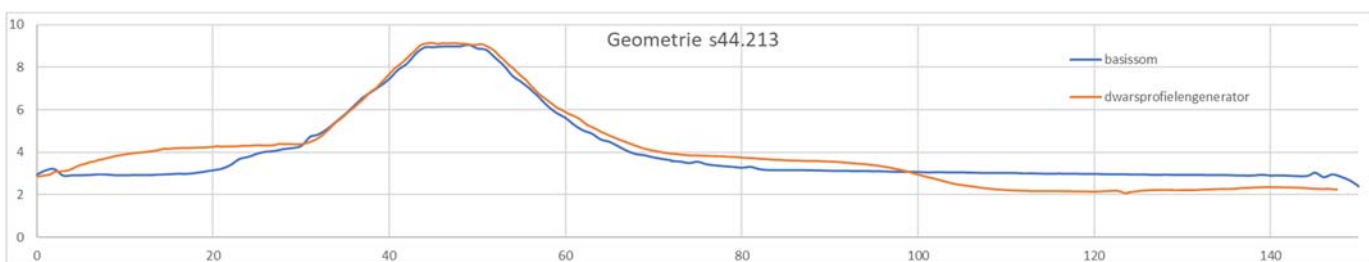
De volgende waterspanningen zijn aangehouden in de originele berekening:

Stijghoogte kruin + binnenberm tijdens MHW	7.67 m t.o.v. NAP
Stijghoogte binnenteen + achterland tijdens MHW	7.37 m t.o.v. NAP

De basisberekening s44.213 is berekend aan de hand van de schuifsterkte, bepaald uit de GEF data van de sonderingen bij s44.213. De schuifsterktes zijn bepaald met een Excel rekensheet waarin het GEF bestand is gekopieerd. De bijbehorende GEF bestanden van de sonderingen zijn niet beschikbaar. De gehanteerde bodemopbouw uit de Excel rekensheet komt direct overeen met de ingevoerde bodemopbouw en parameters uit de originele berekening.

4.3.1.1 Controle geometrie dwarsdoorsnede s44.213

Op basis van een geautomatiseerd script is per dijk een dwarsdoorsnede haaks op de as van de kruin gegenereerd. Deze dwarsdoorsnede is vergeleken met de geometrie in de originele berekeningen die is bepaald op basis van AHN2. In onderstaand figuur is dit gedaan voor dwarsprofiel 213. De blauwe lijn komt overeen met de originele berekeningen. De oranje lijn is het gegenereerde profiel.



Figuur 4-2: Geometrie van dwarsdoorsnede 213

De dijkbasis lijkt redelijk overeen te komen. In het dwarsprofiel uit de dwarsprofielengenerator AHN3 lijkt een buitenberm te zitten t.o.v. het originele dwarsprofiel. Ook binnendijs lijkt een berm te zitten en is het niveau van het achterland één meter lager. Dat wordt waarschijnlijk veroorzaakt doordat het profiel enkele tientallen meters uit elkaar liggen en daardoor niet exact overeenkomen. Dit kan het gevolg zijn van de keuze om binnen een dijkvak de maatgevende geometrie te hanteren terwijl de grondopbouw ter plaatse van dwarsprofiel 213 wordt gehanteerd. Het is echter niet duidelijk of deze werkwijze in de originele berekeningen is gehanteerd.

4.3.1.2 Controle bodemopbouw

De bodemopbouw is gebaseerd op de sonderingen S44.213+065_BIT, S44.213+064_BIB en S44.213+063_KR.

Kruin: De bodemschematisatie uit de Excelsheet komt overeen met de sondering S44.213+063_KR. Alleen de toplaag die als zand_tussenlaag is geschematiseerd lijkt af te wijken. (dijkmateriaal klei met fragmentarisch een dunne zandlaag).

Binnenberm: De bodemschematisatie uit de Excelsheet lijkt redelijk overeen te komen met de sondering, S44.213+064_BIB. Alleen de toplagen (dijkmateriaal klei en zand tussenlaag) lijken iets af te wijken. Tussen dijkmateriaal en zand tussenlaag zit nog een kleilaag

Binnenteen: De bodemschematisatie uit de Excelsheet komt nagenoeg overeen met de sondering S44.213+065_BIT.

De oorspronkelijk opgestelde grondopbouw voor dit profiel is ook gehanteerd in de gevoeligheidsberekeningen. De grondopbouw is dus niet aangepast. De gevonden kleine afwijkingen in bodemopbouw tussen de sonderingen en de berekeningen zullen waarschijnlijk niet leiden tot een significant andere beoordeling van de macrostabiliteit.

4.3.1.3 Berekening opbarstveiligheid

Door middel van een beschouwing van de opbarstveiligheid is berekend dat bij dit dijkprofiel geen opdrijven optreedt.

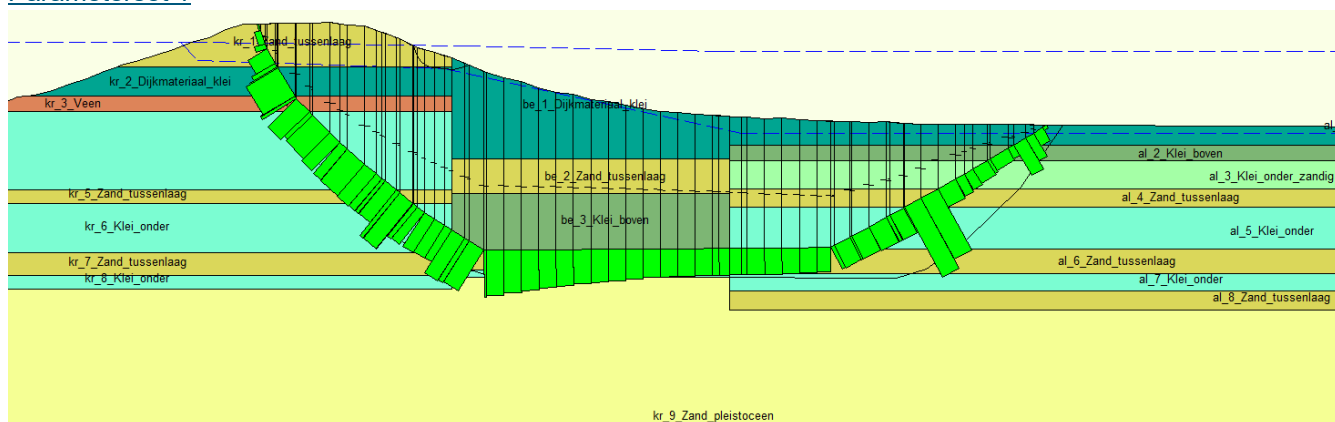
Tabel 4.5: Controle opbarsten dwarsprofiel S44.213

				Opmerking
Neerwaartse druk	σ_{gr}	170.2	[kN/m ²]	Op basis van deklaag achterland
Opwaartse druk	σ_w	135.1	[kN/m ²]	Op basis van MHW situatie achterland
Check opbarsten	σ_{gr} / σ_w	1.26	[-]	Opdrukveiligheid > 1,2 geen opbarsten/opdrijven

4.3.1.4 Resultaten gevoeligheidsanalyse dwarsdoorsnede s44.213

In onderstaande figuren zijn de glijvlakken opgenomen voor de stabiliteitsberekening met de aangepaste grondparametersets. Hierbij is eerst parameterset 1 (Schematiseringshandleiding Macrostabiliteit) en vervolgens parameterset 2 (Voorhavendijk Beatrixsluis) toegepast.

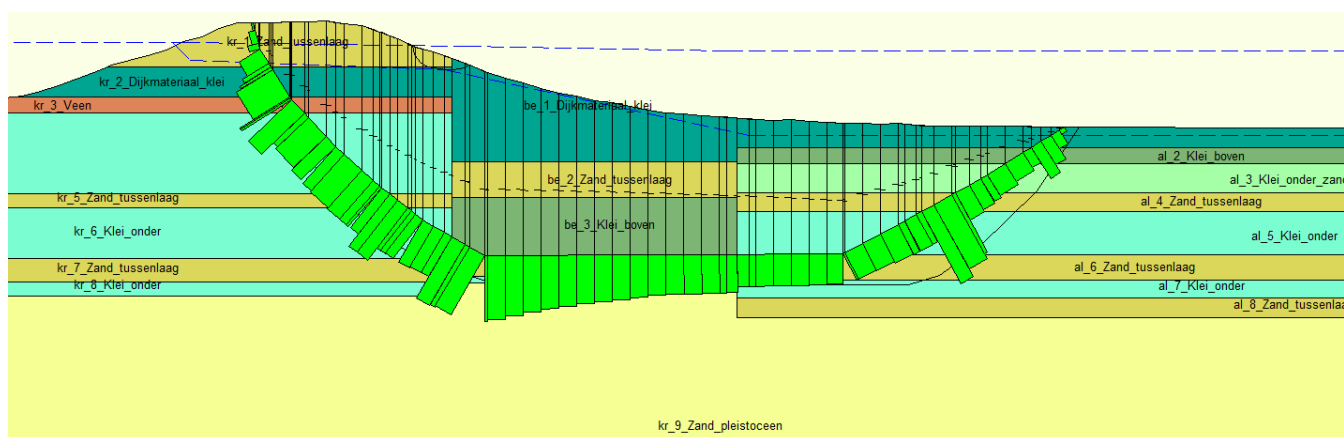
Parameterset 1



Figuur 4-3: Glijvlak dwarsprofiel 213 met parameterset 1

Stabiliteitsfactor: 1.16

Parameterset 2



Figuur 4-4: Glijvlak dwarsprofiel 213 met parameterset 2

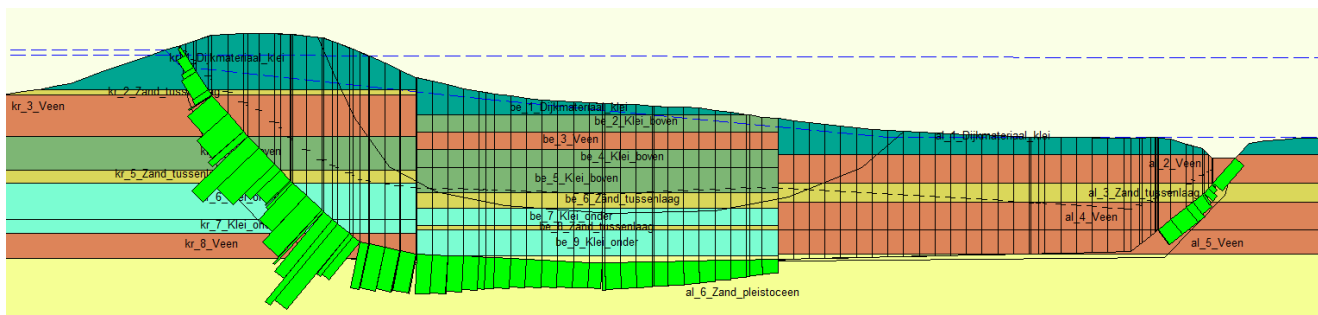
Stabiliteitsfactor: 1.37

Conclusie

Dwarsprofiel s44.213 voldoet bij het toepassen van de conservatieve parameterset 2 uit de veiligheidsanalyse van de Voorhavendijk nagenoeg aan de veiligheidseis van 1,38. Verwacht wordt dat ook de andere dwarsprofielen die zijn goedgekeurd, en waarin nauwelijks tot geen veenlagen aanwezig zijn (en waar opdrijven is uitgesloten), ook bij een aanvullende veiligheidsanalyse worden goedgekeurd.

4.3.2 Profiel S44.231

De originele berekening uit de aanvullende beoordeling is uitgevoerd in D-Geo Stability versie 16.2.1.4. De berekening is ingeladen in de meeste recente versie D-Geo Stability versie 18.1 en opnieuw berekend.



Figuur 4-5: Glijvlak in originele berekening dwarsdoorsnede 231

De berekende stabiliteitsfactor voor dwarsprofiel s44.231 is gelijk aan 1.69.

De volgende waterspanningen zijn aangehouden in de basissom:

Stijghoogte kruin + binnenberm tijdens MHW

7.06 m t.o.v. NAP

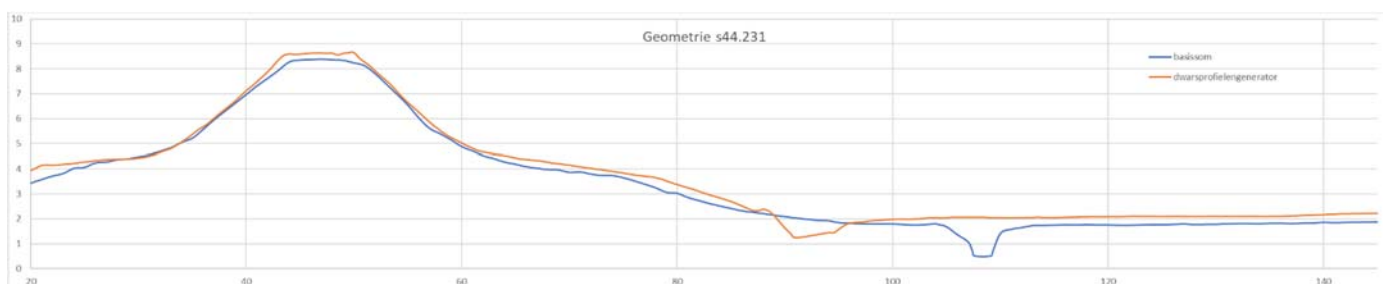
Stijghoogte binnenteen + achterland tijdens MHW

6.75 m t.o.v. NAP

De berekening is uitgevoerd op basis van de sonderingen: S44.231+001_BIT, S44.231+000_BIB, S44.231+000_KR.

De basissom s44.231 is berekend aan de hand van de schuifsterktes die zijn bepaald aan de hand van een Excel rekensheet en een GEF bestand van sondering s44.231+000_KR. De hoge veiligheidsfactor is te verklaren door de hoge schuifsterkteparameters die aan de verschillende grondlagen zijn toegekend.

4.3.2.1 Controle geometrie dwarsdoorsnede s44.231



Figuur 4-6: Geometrie van dwarsdoorsnede 231

In bovenstaande figuur is een dwarsdoorsnede van het dijkprofiel die bij de originele berekening is gehanteerd op basis van AHN2 (blauwe lijn) opgenomen en een dwarsdoorsnede uit de dwarsprofielengenerator volgens AHN3 (oranje lijn). De dijkbasis komt nagenoeg overeen. Alleen de kruin lijkt bij het dwarsprofiel uit AHN3 een fractie hoger te liggen en de sloot ligt binnendijs meer richting de binnenteen. En reden hiervoor kan zijn dat de dwarsdoorsnedes niet precies op dezelfde locatie zijn genomen. Dit kan het gevolg zijn van de keuze om binnen een dijkvak de maatgevende geometrie te hanteren terwijl de grondopbouw ter plaatse van dwarsprofiel 213 wordt gehanteerd. Het is echter niet duidelijk of deze werkwijze in de originele berekeningen is gehanteerd.

4.3.2.2 Controle bodemopbouw

Kruin: De bodemschematisatie uit de Excelsheet komt overeen met sondering S44.231+000_KR. Alleen de toplaag die als zand_tussenlaag is geschematiseerd lijkt af te wijken. (dijkmateriaal klei met fragmentarisch een dunne zandlaag).

Binnenberm: De bodemschematisatie uit de Excelsheet lijkt redelijk overeen te komen met sondering S44.231+000_BIB. (Veenlaag is minder dik, onderste zand tussenlaag = leem/klei)

Binnenteen: De bodemschematisatie uit de Excelsheet komt niet overeen met sondering S44.231+001_BIT. (dikte van veenpakket is waarschijnlijk te groot geschematiseerd)

De oorspronkelijk opgestelde grondopbouw voor dit profiel is ook gehanteerd in de gevoeligheidsberekeningen. De grondopbouw is dus niet aangepast. In de berekening is op basis van de beschikbare sondering ter plaatse van de binnenteen een vrijwel aaneengesloten veenpakket geschematiseerd. Op basis van gebiedskennis kan worden gesteld dat dergelijke dikke veenpakketten echter niet of nauwelijks voorkomen in dit gebied. Wanneer ook mechanische boringen in het gebied worden betrokken om de grondopbouw opnieuw vast te stellen, zullen waarschijnlijk een groot aantal veenlagen als kleilaag kunnen worden geclassificeerd. Dit heeft een zeer groot positief effect op de berekende stabiliteitsfactor.

4.3.2.3 Berekening opbarstveiligheid

Door middel van een beschouwing van de opbarstveiligheid is berekend dat bij dit dijkprofiel opdrijven kan optreden.

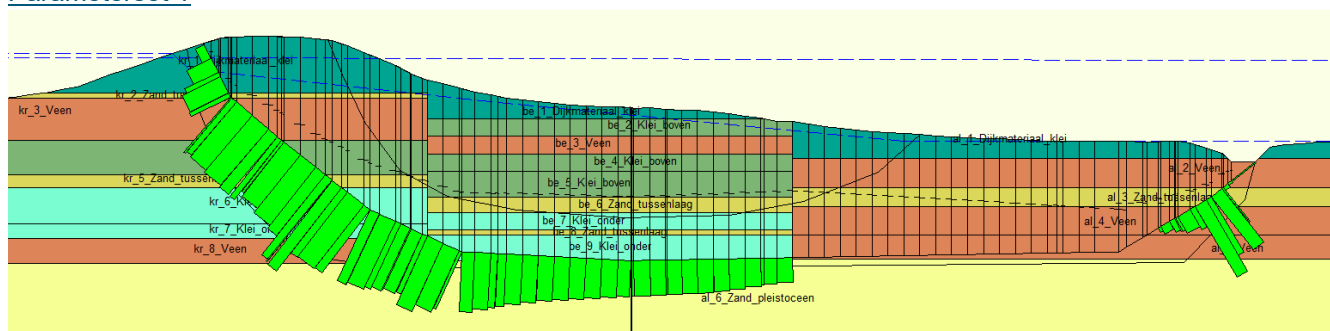
			Opmerking
Neerwaartse druk	σ_{gr}	102.1 [kN/m ²]	Op basis van deklaag achterland
Opwaartse druk	σ_w	121.2 [kN/m ²]	Op basis van MHW situatie achterland
Check opbarsten	σ_{gr} / σ_w	0.84 [-]	Opdrukveiligheid < 1,0 met deklaagdikte > 4 m Dit leidt tot opdrijven van deklaag.
Grenspotentiaal	Φ_{gp}	4.43 [m + NAP]	Berekende grenspotentiaal

In de stabiliteitsberekening is geen rekening gehouden met opdrijven door het toepassen van het grenspotentiaal. Dit betekent dat er een te hoge stijghoogte ter plaatse van het achterland in rekening is gebracht.

4.3.2.4 Resultaten gevoeligheidsanalyse dwarsdoorsnede s44.231

In onderstaande figuren zijn de glijvlakken opgenomen voor de stabiliteitsberekening met de aangepaste grondparametersets. Hierbij is eerst parameterset 1 (Schematiseringshandleiding Macrostabiliteit) en vervolgens parameterset 2 (Voorhavendijk Beatrixsluis) toegepast.

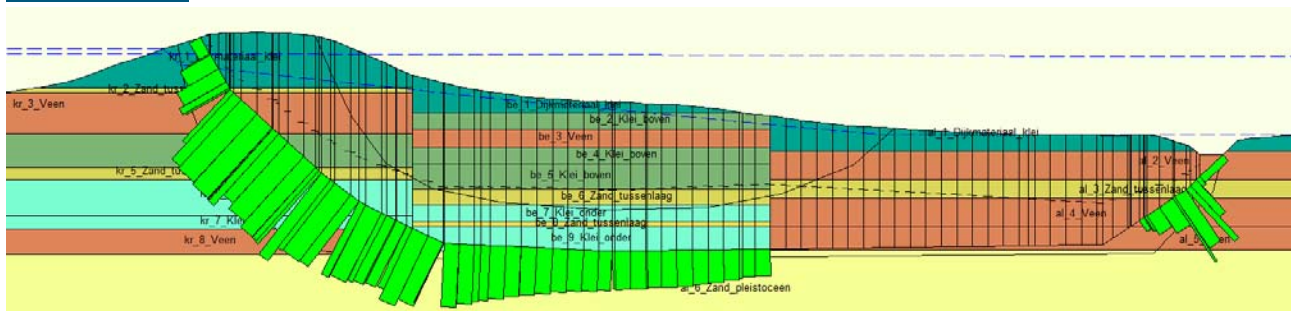
Parameterset 1



Figuur 4-7: Glijvlak dwarsprofiel 231 met parameterset 1

Stabiliteitsfactor: 0.69

Parameterset 2



Figuur 4-8: Glijvlak dwarsprofiel 231 met parameterset 2

Stabiliteitsfactor: 0.80

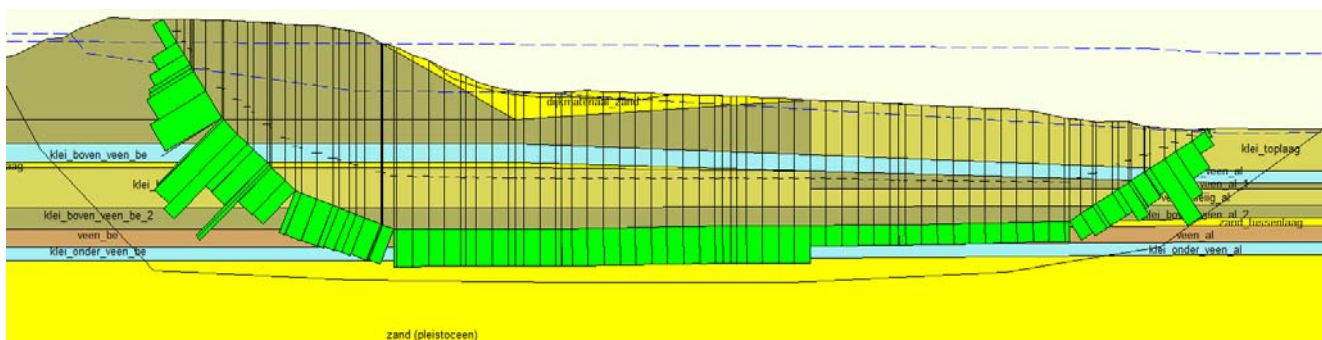
Conclusie

In de berekening is op basis van de beschikbare sondering ter plaatse van de binnenteen een vrijwel aaneengesloten veenpakket geschematiseerd. Dergelijke dikke veenpakketten komen echter niet of nauwelijks voor in dit gebied. Wanneer ook mechanische boringen in het gebied worden betrokken om de grondopbouw opnieuw vast te stellen, zullen waarschijnlijk een groot aantal veenlagen als kleilaag kunnen worden geclassificeerd. Dit heeft een zeer groot effect op de berekende stabiliteitsfactor.

Met de zeer conservatieve parameterset 1 halveert de berekende veiligheidsfactor. Door aanwezigheid van dikke veenlagen in het achterland wil de deklaag gaan opdrijven. Hierdoor zijn er geen schuifspanningen in het glijvlak aanwezig ter plaatse van het achterland. De berekende hoge veiligheidsfactor in de originele berekening is daarom enigszins discutabel. Daarom wordt verwacht dat andere dwarsprofielen met dikke veenlagen die zijn goedgekeurd bij een aanvullende analyse alsnog worden afgekeurd.

4.3.3 Profiel S44.266

De originele berekening uit de aanvullende beoordeling is uitgevoerd in D-Geo Stability versie 16.2.1.4. De berekening is ingeladen in de meeste recente versie D-Geo Stability versie 18.1 en opnieuw berekend.



Figuur 4-9: Glijvlak in originele berekening dwarsdoorsnede 266

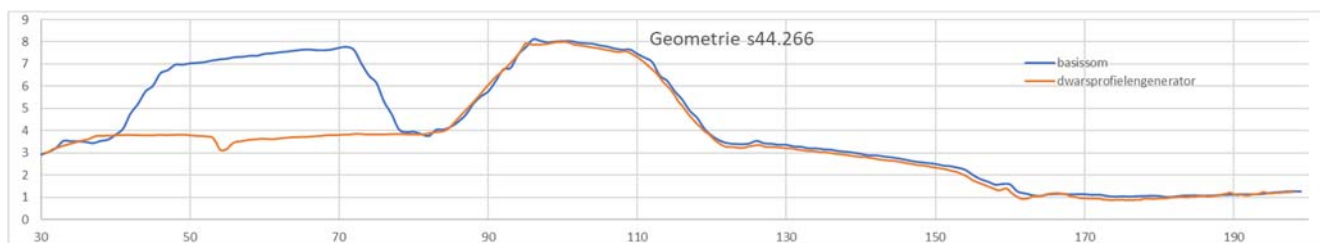
De berekende stabiliteitsfactor voor dwarsprofiel s44.266 is gelijk aan 1.07

De volgende waterspanningen zijn aangehouden in de basissom:

Stijghoogte kruin tijdens MHW	7.06 m t.o.v. NAP
Stijghoogte binnenberm tijdens MHW	6.14 m t.o.v. NAP
Stijghoogte achterland tijdens MHW	5.85 m t.o.v. NAP

De berekening is uitgevoerd op basis van de sonderingen S44.266+00_AL, S44.266+00_berm. Basissom s44.266 berekend aan de hand van de schuifsterktes die zijn bepaald aan de hand van een Excel reken sheet en een GEF bestand van twee sonderingen. De lage veiligheidsfactor is te verklaren door de lage schuifsterkteparameters die aan de verschillende grondlagen zijn toegekend. De manier waarop de schuifsterkteparameters zijn bepaald is niet uit het Excel bestand te herleiden.

4.3.3.1 Controle geometrie dwarsdoorsnede s44.266



Figuur 4-10: Geometrie van dwarsdoorsnede 266

In bovenstaande figuur een dwarsdoorsnede van het dijkprofiel die bij de originele berekening gehanteerd is op basis van AHN2 (blauwe lijn) en een dwarsdoorsnede uit de dwarsprofielengenerator volgens AHN3 (oranje lijn). De dijkbasis komt nagenoeg overeen. De dijkprofielen komen nagenoeg overeen behalve de grondaanvulling buitendijks. Dit lijkt een tijdelijk depot te zijn geweest voor werkzaamheden van het project Ruimte voor de rivier.

4.3.3.2 Controle bodemopbouw

De bodemopbouw is gebaseerd op de sonderingen S44.266+00+AL, S44.266+00_berm. Ter plaatse van de kruin is er geen sondering beschikbaar.

Kruin: Ter plaatse van de kruin is geen sondering beschikbaar waardoor de bodemschematisatie grotendeels is gebaseerd op sondering S44.266+00_berm. De dijk zelf is geschematiseerd als een zanddijk. Het is echter waarschijnlijker dat de dijk is opgebouwd uit klei evenals de andere gedeelten van het traject.

Binnenberm: De bodemschematisatie komt nagenoeg overeen met de sondering S44.266+00_berm. De bestaande berm is grotendeels geschematiseerd als klei. Het is waarschijnlijker dat de bestaande berm is opgebouwd uit zand met een deklaag van klei.

Binnenteen: De bodemschematisatie komt nagenoeg overeen met de sondering S44.266+00+AL.

De oorspronkelijk opgestelde grondopbouw voor dit profiel is ook gehanteerd in de gevoeligheidsberekeningen. De grondopbouw is dus niet aangepast. Een andere schematisering van de dijk en berm zoals hierboven is benoemd zal waarschijnlijk niet leiden tot een significant andere beoordeling van de macrostabiliteit.

4.3.3.3 Berekening opbarstveiligheid

Door middel van een beschouwing van de opbarstveiligheid is berekend dat bij deze dijkprofiel opdrijven kan optreden.

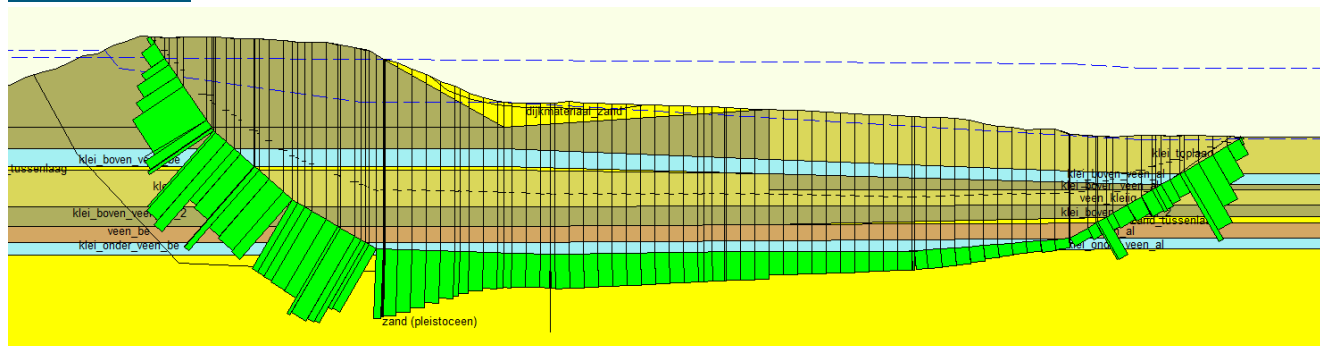
				Opmerking
Neerwaartse druk	σ_{gr}	125.4	[kN/m ²]	Op basis van deklaag achterland
Opwaartse druk	σ_w	128.9	[kN/m ²]	Op basis van MHW situatie achterland
Check opbarsten	σ_{gr} / σ_w	0.97	[-]	Opdrukveiligheid < 1,0 met deklaagdikte > 4 m Dit leidt tot opdrijven van deklaag.
Grenspotentiaal	Φ_{gp}	5.62	[m + NAP]	Berekende grenspotentiaal

In de stabiliteitsberekening lijkt hiermee wel rekening te zijn gehouden. Binnendijs is een kleine verspringing in de stijghoogtelijn te zien.

4.3.3.4 Resultaten gevoeligheidsanalyse dwarsdoorsnede s44.266

In onderstaande figuren zijn de glijvlakken opgenomen voor de stabiliteitsberekening met de aangepaste grondparametersets. Hierbij is eerst parameterset 1 (Schematiseringshandleiding Macrostabiliteit) en vervolgens parameterset 2 (Voorhavendijk Beatrixsluis) toegepast.

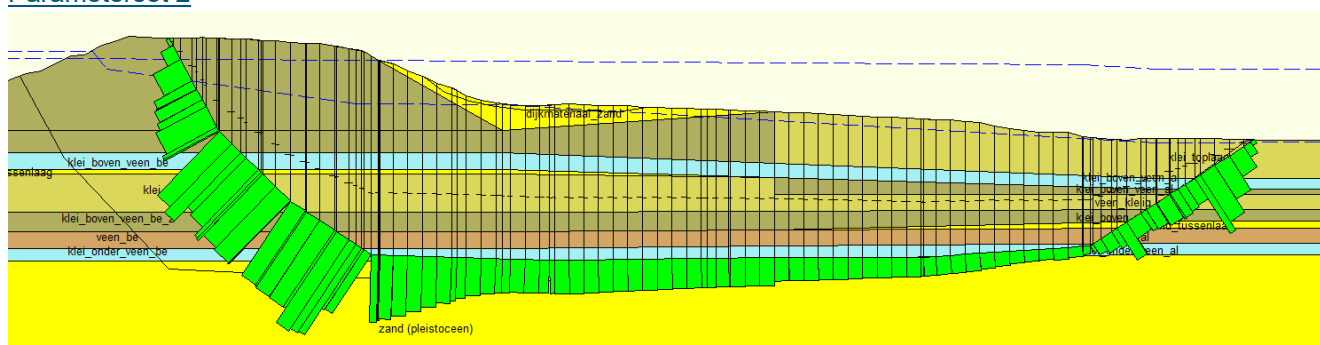
Parameterset 1



Figuur 4-11: Glijvlak dwarsprofiel 266 met parameterset 1

Stabiliteitsfactor: 1.05

Parameterset 2



Figuur 4-12: Glijvlak dwarsprofiel 266 met parameterset 2

Stabiliteitsfactor: 1.21

Conclusie

De veiligheidsfactor van s44.266 wordt bij het toepassen van de conservatieve parameters van de veiligheidsanalyse van de Voorhavendijk veel gunstiger ten opzichte van de originele berekening. Dit berekeningsresultaat is niet geheel conform verwachting. De oorspronkelijk gehanteerde grondsterkte is daarom waarschijnlijk te conservatief bepaald.

De berekening van dwarsprofiel s44.266 mist een sondering ter plaatse van de kruin van de dijk. De Su-waarde van de berm wordt door vertaald naar de kruin. Dit is een conservatieve benadering, omdat de spanningscondities onder de dijk hoger zijn. Hierdoor zal de ongedraineerde schuifweerstand ook hoger zijn. Dit is niet in de berekening meegenomen.

4.4 Conclusie gevoeligheidsanalyse

In onderstaande tabel zijn de berekeningsresultaten van de in paragraaf 4.3 opgenomen gevoeligheidsanalyse van de grondsterkteparameters opgenomen.

Tabel 4.6: Resultaten binnenwaartse stabiliteit o.b.v. gevoeligheidsanalyse grondparameters voor 3 dwarsprofielen

Dwarsprofiel	Oorspronkelijk (SF [-])	Paramameter set 1 (SF [-])	Paramameter set 2 (SF [-])	Opmerking
213	1,52	1,16	1,37	Berekeningsresultaten conform verwachting. Toepassing van conservatieve grondparameters levert een lagere stabiliteitsfactor.
231	1,69	0,69	0,80	Berekeningsresultaat niet conform verwachting. Toepassing van conservatieve grondparameters levert een aanzienlijk lagere stabiliteitsfactor. De oorspronkelijk gehanteerde grondsterkte is waarschijnlijk te positief bepaald.
266	1,07	1,05	1,21	Berekeningsresultaat niet conform verwachting. Toepassing van conservatieve grondparameters levert een hogere stabiliteitsfactor. De oorspronkelijk gehanteerde grondsterkte is waarschijnlijk te conservatief bepaald.

Uit Tabel 4.6 blijkt dat er geen eenduidig beeld kan worden geschetst met betrekking tot de gehanteerde grondsterkteparameters in de oorspronkelijke stabiliteitsberekeningen. In de oorspronkelijke berekening van dwarsprofiel 231 lijkt een te hoge grondsterkte te zijn gebruikt. Het verschil tussen de berekende stabiliteitsfactor van 0,80 met conservatieve grondparameters en de berekende stabiliteitsfactor van 1,69 met de oorspronkelijke grondparameters is hiervoor te groot. In de oorspronkelijke berekening van dwarsprofiel 266 lijkt een te lage grondsterkte te zijn gebruikt. De berekende stabiliteitsfactor van 1,21 met conservatieve grondparameters zou immers tot de laagste stabiliteitsfactor moeten leiden.

Uit de berekeningsresultaten van de verkennende gevoeligheidsanalyse kan worden geconcludeerd dat geen eenduidig beeld kan worden vastgesteld met betrekking tot de gehanteerde grondsterkte in de oorspronkelijke berekeningen. De gehanteerde sterkteparameters lijken enerzijds te positief en anderzijds

te conservatief. Dit heeft zijn weerslag op de stabiliteit van de veiligheidsopgave. Deze is op basis van de uitgevoerde gevoeligheidsanalyse niet eenduidig vast te stellen.

Verdere algemene bevindingen:

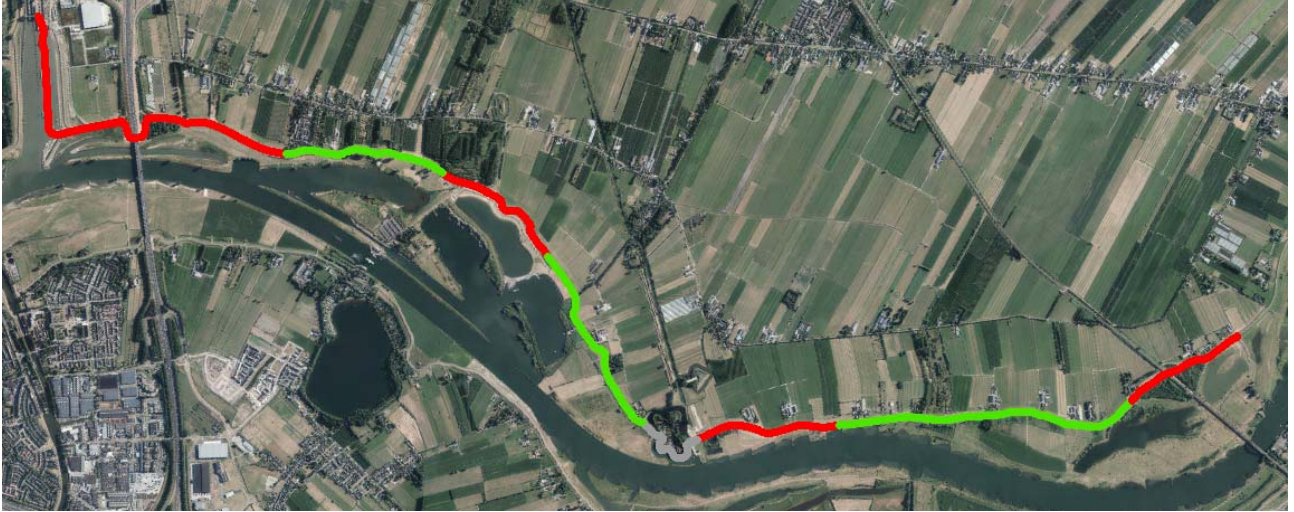
- De geometrie van de waterkering is correct in de bestaande stabiliteitsberekeningen verwerkt.
- Schematisering van de grondopbouw is niet overal consistent. Vooral de schematisering van veenlagen op basis van alleen sonderingen is moeilijk. Aanvullende informatie uit mechanische boringen is hiervoor noodzakelijk. Het risico van schematiseren van de grondopbouw alleen op basis van sonderingen is dat de dikte van de veenlagen bij enkele dwarsprofielen wordt overschat. Dit is waarschijnlijk het geval bij dwarsprofiel 231.
- De gehanteerde stijghoogte in het watervoerende pakket ter plaatse van het achterland is conservatief. Deze is veelal 0,5 tot ca. 2 m lager dan de gehanteerde maatgevende buitenwaterstand.
- Het is niet duidelijk of in de situatie waarbij de deklaag ter plaatse van het achterland opdrijft of opbarst de grenspotential in rekening is gebracht. Wanneer dit niet is gedaan wordt een te hoge stijghoogte ter plaatse van het achterland in rekening gebracht. De gevonden stabiliteitsfactor is dan kleiner.
- De gehanteerde spanningssituatie en grondsterkte in de bestaande stabiliteitsberekeningen is gebaseerd op verschillende excelsheets en is moeilijk te controleren. Controle van de spanningssituatie is nu niet gedaan omdat deze grote inspanning onvoldoende meerwaarde voor het project in deze fase biedt. Nieuwe programmatuur (D-GEO Suite) biedt voor nieuwe berekeningen een beter overzicht.
- De drie nader beschouwde stabiliteitsberekeningen zijn allen berekend met het Spencer glijvlakmodel dat voor deze stabiliteitsanalyse het correcte model is. Wanneer opdrijven van het achterland optreedt, zoals het geval is bij dwarsprofiel 231, is een berekening met het glijvlakmodel LiftVan echter ook noodzakelijk. Dit kan leiden tot een lagere stabiliteitsfactor.

4.5 Assemblage beoordeling macrostabiliteit binnenwaarts

In onderstaande tabel zijn de kenmerken van de dijkvakken van CUB opgenomen. Hierin is aangegeven welk maatgevend dwarsprofiel is berekend en wat de berekende stabiliteitsfactor is.

Dwarsprofiel (van-tot)	Dwarsprofiel	SF (eis)	SF (berekend)	Sonderingen	Opmerking
202 – 209	S44.203	1,38	0,97	S44.203+00_AL, S44.203+00_berm	Deklaagdikte 6 m Stijghoogte achterland ca. 0,5 m lager dan MHW
209 – 212+50		1,38	0,97		
212+50 – 215	s44.210	1,38	2,12	S44.210+37_BIT, S44.210+039_BIB, S44.210+040_KR	Deklaagdikte 6 m Stijghoogte achterland ca. 0,5 m lager dan MHW 3 aanvullende sondering uitgevoerd voor toetsing 2017.
215 – 218	s44.213	1,38	1,52	S44.213+065_BIT, S44.213+064_BIB, S44.213+063_KR	Deklaagdikte 10 m Stijghoogte achterland vrijwel gelijk aan MHW Zeer kleine maatgevende glijcirkel 3 aanvullende sondering uitgevoerd voor toetsing 2017.
218 – 227		1,38	1,65		
227 – 234	s44.231	1,5	1,69	S44.231+001_BIT, S44.231+000_BIB, S44.231+000_KR	Dik veenpakket met dikte van ca. 10 m. Hierdoor treedt opdrijven van de deklaag op waardoor stabiliteit niet voldoet In oorspronkelijke berekening geen grenspotentiaal in rekening gebracht (stijghoogte vrijwel gelijk aan MHW). Daarnaast is gehanteerde grondsterkte su t.p.v. kruin vrij hoog. 3 aanvullende sondering uitgevoerd voor toetsing 2017
234 – 243	S44_239	1,38	1,14	S44.239+00_AL, S44.239+00_berm	Deklaagdikte 7 m Stijghoogte achterland vrijwel gelijk aan MHW
243 – 244		1,38	1,14		
244 – 245	Fort Honswijk				
245 – 260	S44_248	1,38	1,62	S44.248+00_AL, S44.248+00_berm	Deklaagdikte ca. 3 m. Dikke tussenzandlaag
	DWP 258	1,38	1,53	DP257+097_DKMP_KR, DP257+098_DKMP_BI, DP255+097_DKMP_AL	Berekening DWP 258 bij beoordeling Honswijkerwaard (2019) Aanvullend grondonderzoek uitgevoerd in 2018.
260 – 270	S44.266	1,38	1,04	S44.266+00_AL, S44.266+00_berm	Deklaagdikte 8 m Stijghoogte achterland ca. 1,2 m lager dan MHW (= grensspanning)
270 – 275	E44_277_50	1,38	1,82	Grondopbouw o.b.v. globale bodemeenheid. Geen lokaal onderzoek.	Deklaag 5 m. Opbarsten met c=phi=0 in rekening gebracht met grensspanning.
275 – 282	s44.274	1,5	2,11	S44.274+022_BIT, S44.274+019_BIB, S44.274+016_KR	Deklaagdikte 8 m Stijghoogte achterland ca. 1,0 m lager dan MHW
282 – 285	S44_283_00	1,5	1,03	S44.283+00_AL, S44.283+00_berm	Deklaag 9 m. Opbarsten in rekening gebracht? Stijghoogte in achterland is ca. 2,4 m lager dan MHW
285 – 291	E44_289_70	1,38	1,22	Grondopbouw o.b.v. globale bodemeenheid. Geen lokaal onderzoek.	Deklaag 5 m. Opbarsten met c=phi=0 in rekening gebracht met grensspanning.
291 – 305	S44_294_00	1,5	1,3	S44.294+00_AL, S44.294+00_berm	Deklaagdikte 8 m Stijghoogte in achterland is ca. 1,7 m lager dan MHW
305 - 306	?	1,24	1,03	?	Berekeningen Voorhavendijk Beatrixsluis

Samengevat kan worden gesteld dat de beoordeling van het faalmechanisme macrostabiliteit binnenwaarts voornamelijk is gebaseerd op de aanvullende analyse 2017. Voor deze analyse zijn een aantal aanvullende sonderingen uitgevoerd. Daarnaast zijn in alle oorspronkelijke berekeningen uit 2015 de grondspanningen opnieuw berekend (aanpassing van reference level). Aanvullend hierop is de beoordeling van de nieuw aangelegde Voorhavendijk van de Beatrixsluis (2018) en dwarsprofiel 258 in de Honswijkerwaard (2019).



Figuur 4-13: Assemblage beoordeling macrostabiliteit binnenwaarts met oordeel voldoende (groen) en onvoldoende (rood)

5 Stabiliteit buitenwaarts (STBU)

5.1 Inleiding

De buitenwaartse macrostabiliteit is slechts op een beperkt gedeelte van het traject van CUB beoordeeld. In dit hoofdstuk worden deze delen beschreven en samengevoegd om een beeld te krijgen van de stand van zaken met betrekking tot het faalmechanisme macrostabiliteit buitenwaarts.

5.2 Assemblage

In het kader van de overdracht van de Voorhavendijk bij de Beatrixsluizen is het ontwerp van de dijk, die circa 100 m landinwaarts is verplaatst nader onderzocht. Deze analyse is vastgelegd in de rapportage Veiligheidsanalyse voorhavendijk Beatrixsluis (2018). De nadere beoordeling van de Voorhavendijk voor het faalmechanisme macrostabiliteit buitenwaarts concludeert dat het nieuwe ontwerp niet voldoet aan de gestelde eisen conform WBI voor het zichtjaar 2067. De gevonden veiligheidsfactoren bedragen 1,05 (dijkvak 3) en 0,92 (dijkvak 2) terwijl de geëiste veiligheidsfactor 1,17 bedraagt. Hierbij wordt voor de schematiseringsfactor 1,0 gehanteerd omdat de opbouw van de dijk bekend is.

In 2019 is het dijkvak Honswijkerwaard (dp 246 – dp 259) beoordeeld conform het WBI voor de zichtjaren 2023 en 2073 voor onder andere het faalmechanisme buitenwaartse macrostabiliteit. Deze beoordeling is uitgevoerd op basis van lokaal aanwezig grondonderzoek waarbij voor de grondsterkte gebruik is gemaakt van de parameterset van POV Centraal Holland (2015). Voor de *pre-overburden pressure* (POP) zijn de standaard waarden uit tabel 7.3 van de schematiseringshandleiding Macrostabiliteit gebruikt. Dit betekent dat deze beoordeling conservatief is ingestoken.

Voor het faalmechanisme buitenwaartse macrostabiliteit gelden de volgende conclusies:

- De beoordeling op macrostabiliteit buitenwaarts is afgekeurd op basis van de Toets op Maat in D-Geo Stability.
- Het traject is afgekeurd bij een situatie waarin de waterstand snel valt voor zowel zichtjaar 2023 als 2073. Hierdoor blijft de schuifsterkte in de dijk laag, maar ontbreekt de steundruk van het hoogwater. Deze situatie resulteert in een te lage veiligheidsfactor van 1,18 (zichtjaar 2023) en 1,22 (zichtjaar 2073). De geëiste veiligheidsfactor bedraagt 1,38.



Figuur 5-1: Assemblage beoordeling macrostabiliteit buitenwaarts met oordeel voldoende (groen) en onvoldoende (rood) en niet beoordeeld (grijs)

6 Piping (STPH)

6.1 Inleiding

Een groot deel van het deeltraject CUB is in de voorgaande beoordelingen afgekeurd op het faalmechanisme piping. In dit hoofdstuk wordt een overzicht gegeven van de relevante gehanteerde uitgangspunten van deze beoordelingen. Daarnaast zijn de kwelweglengtetekorten op dijkpaalniveau per beoordeling grafisch weergegeven om een indruk te krijgen van de bandbreedte. Tot slot worden de meest actuele beoordelingen per dijkpaal samengevoegd om een totaalbeeld van de huidige stand van zaken te krijgen van het faalmechanisme piping.

6.2 Gehanteerde uitgangspunten per beoordeling

Het faalmechanisme piping is in de voorgaande studies beoordeeld per dijkpaal. Hiervoor zijn in deze studies randvoorwaarden en uitgangspunten afgeleid. In alle studies is voor de beoordeling gebruik gemaakt van het model van Sellmeijer.

Per uitgevoerd onderzoek is een inventarisatie gemaakt hoe de relevante parameters zijn afgeleid. De resultaten hiervan zijn in onderstaande tabel gepresenteerd.

Tabel 6.1: Vergelijk uitgangspunten beoordeling faalmechanisme piping

Parameter	POV Centraal Holland	Aanvullende veiligheidsanalyse 2017	Veiligheidsanalyse voorhavendijk Beatrixsluis	Beoordeling CUB vak Honswijkerwaard
Beoordelingskader	OI2014v3	OI2014v3 en ontwikkelingen WTI2017	OI2014v4	WBI2017
Zichtjaar	2023	2023	2067	2023 en 2073
Uittredepunt	Overgenomen uit 3 ^e toetsronde met aanpassing bij parallelle watergangen binnen 30 m. Diepte watergangen geschat.	Overgenomen uit voorgaande rapportage	Gebaseerd op maatgevende dwarsprofielen uit het uitvoeringsontwerp (kwelsloot in het achterland)	Binnenteen van de dijk
Intredepunt	Overgenomen uit 3 ^e toetsronde.	Aangepast op basis van geofysisch onderzoek op 2 locaties binnen CUB.	Gebaseerd op maatgevende dwarsprofielen uit het uitvoeringsontwerp en 1 keer dijkbasis	Buitenteen van de dijk
Dikte van de deklaag	Op basis van beschikbare boringen lineair geïnterpoleerd – 0,5 m.	Aangepast op basis van geofysisch onderzoek op 2 locaties binnen CUB.	Op basis van grondonderzoek (dijkvak2 5,m en dijkvak3 8,0m)	Op basis van beschikbaar grondonderzoek

Soortelijk gewicht van de deklaag	Overgenomen uit consequentie analyse.	Overgenomen uit voorgaande rapportage	Gemiddelde waarde op basis van grondonderzoek	Standaard WBI-tabel
Effectieve voorlandlengte	Op basis van 1 maal dijkbasis	Aangepast op basis van geofysisch onderzoek op 2 locaties binnen CUB.	Op basis van 1 maal dijkbasis	Niet toegepast
Dikte van de watervoerende zandlaag	Op basis van REGIS II v1. Gekoppeld aan dijkpalen en onderverdeeld in SOS-trajecten.	Overgenomen uit voorgaande rapportage	Geen scenario's gedefinieerd vanwege grote hoeveelheid beschikbare onderzoek	Op basis van SOS schematisatie
Doorlatendheid van de watervoerende zandlaag	Op basis van REGIS II v1.	Overgenomen uit voorgaande rapportage	Karakteristieke waarde op basis van analyse Deltares bij westelijke voorhavendijk	Standaard WBI-tabel
D70 van de watervoerende zandlaag	Overgenomen uit de consequentieanalyse. Voor CUB 300 µm tot 400 µm.	Overgenomen uit voorgaande rapportage	Op basis van zeefanalyses en rapportage Deltares Westelijke Voorhavendijk. Gemiddelde waarde van 400 µm.	Standaard WBI-tabel
Stijghoogte verloop	Technische richtlijn waterspanning bij dijken	Technische richtlijn waterspanning bij dijken	Technische richtlijn waterspanning bij dijken	Middels respons buitenwaterstand en binnenwaterstand

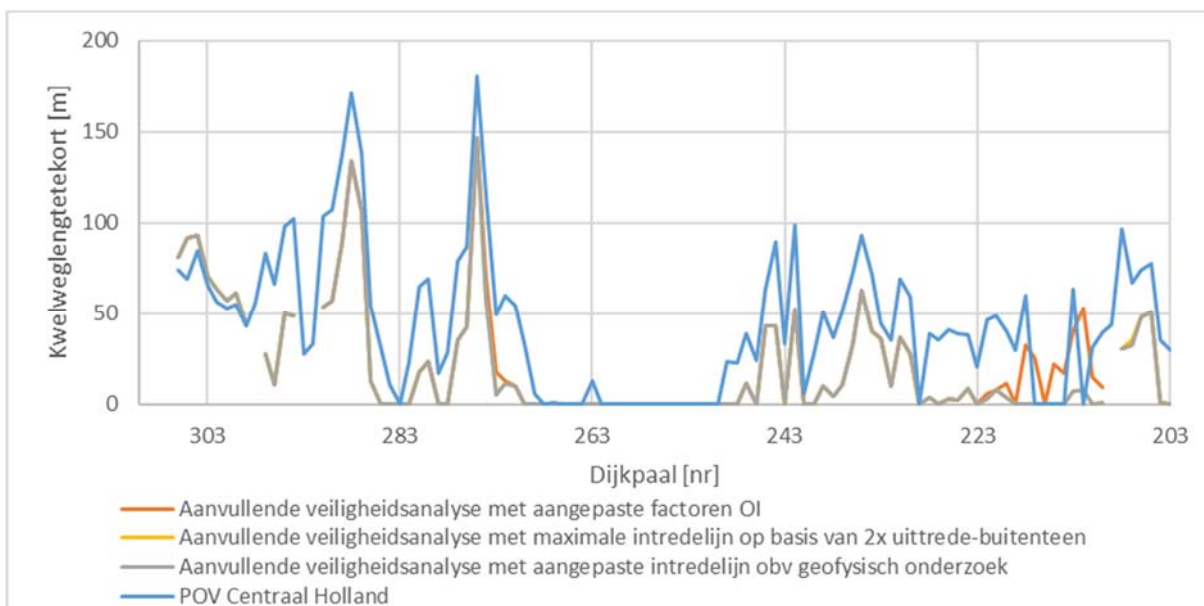
Opmerking:

Naast aanscherping van verschillende uitgangspunten zijn in de loop van de tijd ook de normen en richtlijnen aan vooruitschrijdend inzicht onderworpen. In onderstaande opsomming zijn enkele van deze wijzigingen weergegeven die ook hun impact hebben gehad op de verschillende analyses.

- Verandering van de schadefactor.
- Aanpassing van de D70 waarden van het WTI SOS
- Voorwaarden aan de kleiafdekking in het voorland met betrekking tot (zeer) dunne kleilagen en eisen aan de afsluitende kleilaag.
- In de POV Centraal Holland is per afgeleide parameter ook een variant opgesteld voor een gevoeligheidsanalyse om de schematiseringsfactor nader te bepalen.

6.3 Kwelweglengte tekorten

In onderstaande grafiek zijn de resultaten van de POV Centraal Holland en de Aanvullende veiligheidsanalyse uit 2017 samengevat. Geconcludeerd kan worden dat in de aanvullende analyse het tekort aan kwelweglengte wel heeft kunnen aanscherpen maar dat bij een aantal dijkpalen nog steeds een significant tekort aanwezig is. Hierbij is later door HDSR geconstateerd dat is gerekend met gemiddelde waarden voor D70 en doorlatendheid, waardoor de analyse op dat punt te optimistisch was.



Figuur 6-1: Kwelweglengtetekort deeltraject CUB o.b.v. POV Centraal Holland en de aanvullende veiligheidsanalyse 2017

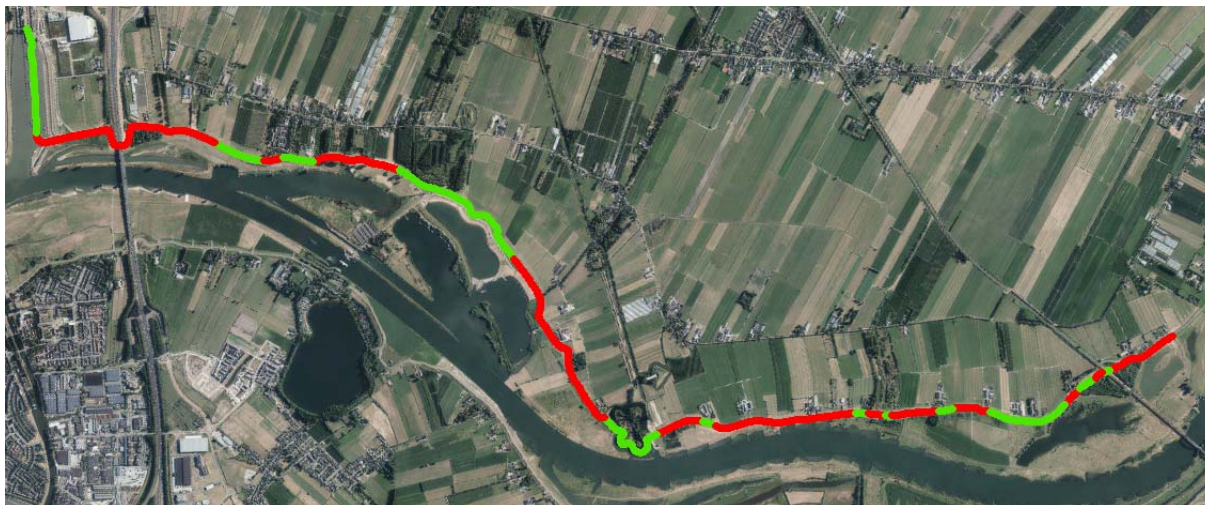
6.4 Assemblage beoordelingen

Samengevat kan worden gesteld dat het toetsoordeel dat is vastgesteld ten tijde van de POV Centraal Holland voor het grootste gedeelte van de Lekdijk binnen het deeltraject CUB als meest recente beoordeling geldt. Deze beoordeling is middels de aanvullende analyse 2017 aangescherpt. Voor deze analyse zijn verschillende onderzoeken uitgevoerd waaronder stijghoogte analyses, geofysisch onderzoek (in het voorland ten westen van de spoorbrug en tussen de Honswijkerwaard en Tul en 't Waal) en het verwerken van nieuwe inzichten rondom de verdere uitwerking van het WBI. Dit aanvullende onderzoek heeft geleid tot goedkeuring van een aantal dijkvakken. In beide beoordelingen is rekening gehouden met een zichtjaar 2023.

Eén van deze goedgekeurde dijkvakken is de Honswijkerwaard. In 2019 is dit deel nogmaals nader tegen het licht gehouden voor de zichtjaren 2023 en 2073. Deze uitgevoerde toetsing is uitgevoerd op basis van lokaal aanwezig grondonderzoek en standaardwaarden uit het WBI. Dit betekent dat deze beoordeling conservatief is ingestoken. Geconcludeerd is dat de Honswijkerwaard niet voldoet aan de gestelde veiligheidseisen.

In het kader van de overdracht van de Voorhavendijk bij de Beatrixsluizen is het ontwerp van de dijk, die circa 100 m landinwaarts is verplaatst nader onderzocht. Voor de dijkverlegging voldeed de Voorhavendijk niet aan de gestelde eisen. De nadere beoordeling van de Voorhavendijk concludeert dat het nieuwe ontwerp voldoet aan de gestelde eisen voor het zichtjaar 2067.

Bovenstaande constatering zijn samengevoegd om een geheel beeld te verkrijgen van welke delen zijn goedgekeurd en welke zijn afgekeurd. De resultaten hiervan zijn weergegeven in Figuur 6-2.



Figuur 6-2: Assemblage beoordeling piping met oordeel voldoende (groen) en onvoldoende (rood)

Bovenstaande afbeelding is gebaseerd op verschillende onderzoeken met afwijkende uitgangspunten waaronder ook het zichtjaar. Verwacht wordt dat wanneer de hydraulische randvoorwaarden worden aangepast aan het zichtjaar 2073 meer dijkvakken niet zullen voldoen aan de norm. Optimalisatie van verschillende parameters is echter mogelijk. Met name het nauwkeurig in kaart brengen van de in- en uittredepunten alsook het verwerken van de resultaten van aanvullend grondonderzoek en nog uit te voeren/uitgevoerde lodingen kunnen vanwege de conservatieve aanpak van de meeste beoordelingen nog leiden tot goedkeuring van een aantal dijkvakken.

Vooralsnog wordt geconcludeerd dat voor een groot gedeelte van het deeltraject CUB de waterkering niet voldoet aan de gestelde eisen voor het faalmechanisme piping. Gezien de conservatieve uitgangspunten en de extreme variaties tussen aangrenzende dijkvakken kan bovenstaand geassembleerd beoordeling nog wijzigen gedurende de verkenningsfase.

7 Hoogte (HT)

7.1 Inleiding

Een klein deel van het deeltraject CUB is in de voorgaande beoordelingen afgekeurd op het faalmechanisme hoogte. In dit hoofdstuk wordt een overzicht gegeven van de relevante gehanteerde uitgangspunten van de verschillende beoordelingen. Hierbij worden de meest actuele beoordelingen per dijkpaal samengevoegd om een totaalbeeld van de huidige stand van zaken te krijgen van het faalmechanisme hoogte.

7.2 Gehanteerde uitgangspunten per beoordeling

Per uitgevoerd onderzoek is een inventarisatie gemaakt hoe de relevante parameters zijn afgeleid. De resultaten hiervan zijn in onderstaande tabel gepresenteerd.

Tabel 7.1: Vergelijk uitgangspunten beoordeling hoogte

Parameter	POV Centraal Holland	Aanvullende veiligheidsanalyse 2017	Veiligheidsanalyse voorhavendijk Beatrixsluis	Beoordeling CUB vak Honswijkerwaard
Beoordelingskader	OI2014v3	OI2014v3 en ontwikkelingen WT12017	OI2014v4	WBI2017
Zichtjaar	2023	2023	2067	2023 en 2073
Signaleringsnorm	1/30.000	1/30.000	1/30.000	1/30.000
Ondergrens	1/10.000	1/10.000	1/10.000	1/10.000
Geometrie	AHN2.0 (2008)	Niet vermeld	Ontwerpprofiel verdisconteerd met verwachte zetting	Geleverd door HDSR opgesteld door LieveenseCSO
Software	Hydra Zoet 1.6.3	Hydra-NL versie 2.2.1	Hydra-NL 2.4.1 (ontwerpmodus)	Ringtoets 18.1 in combinatie met Hydra-NL 2.4.1 (2073)
Database	DPa_Riv_Rijn_oever	Niet vermeld	OI2016 met uitgeïntegreerde onzekerheid	WBI2017_Bovenrijn_44-1_v04
Lengte effect factor	1.0	Niet vermeld		Automatisch
Klimaatscenario	Deltascenario Stoom en Warm	Niet vermeld	W+	W+
Afvoerstatistiek	Grade afvoerstatistiek	Niet vermeld	Grade afvoerstatistiek	Grade afvoerstatistiek
Toeslagen	Onzekerheidstoeslag 0,30 m	Geïntegreerd. Niet vermeld welke toeslagen.	Geïntegreerd. Niet vermeld welke toeslagen.	Automatisch

	Extra onzekerheidstoeslag 0,20 (2050) en 0,40 (2100)			
Bodemdaling	0,5 cm/jaar	Randvoorwaarde overgenomen uit voorgaande rapportage	Uitgegaan van ontwerphoogte	2 tot 4 mm
Overslagdebiet	10 l/s/m	Randvoorwaarde overgenomen uit voorgaande rapportage	10 l/s/m	Standaard WBI waarden (u 0,070 en q van 0,080)
Afvoerdebiet	> 17.000 m ³ /s	Niet vermeld	18.000 m ³ /s	Onbekend

Opmerking

Door het niet tijdig beschikbaar komen van de database in 2017 is in de aanvullende veiligheidsanalyse 2017 geen uitvoerige hoogtetoets uitgevoerd. Wel is een vergelijk gemaakt van de waterstanden bij de referentiesituatie. Dit is de reden waarom niet alle benodigde randvoorwaarden en uitgangspunten in de betreffende rapportage zijn vermeld. Het niet kunnen berekenen van het HBN heeft echter ook doorwerking op de overige toetsporen in de rapportage.

7.3 Assemblage beoordelingen

Uit de inventarisatie van de verschillende randvoorwaarden en uitgangspunten blijkt dat per beoordeling niet overal dezelfde uitgangspunten zijn gehanteerd. Op basis van de hoogtetoets uit de POV Centraal Holland en de herbeoordeling van de Voorhavendijk bij de Beatrixsluizen en de Honswijkerwaard is onderstaand figuur opgemaakt. Hierin zijn de beoordelingen per dijkvak verwerkt.



Figuur 7-1: Assemblage beoordeling hoogte met oordeel voldoende(groen) en onvoldoende(rood)

Geconcludeerd kan worden dat aan de westzijde nabij de A27 sprake is van een hoogtetekort binnen het deeltraject CUB.

Vooralsnog wordt geconcludeerd dat voor een klein gedeelte van het deeltraject CUB de waterkering niet voldoet aan de gestelde eisen voor het faalmechanisme hoogte. De gehanteerde uitgangspunten zijn echter niet eenduidig. Dit geldt met name voor de manier waarop de hydraulische randvoorwaarden zijn afgeleid.

Op basis van de resultaten uit de beoordeling van de hoogte bij de Honswijkerwaard alsook de beoordeling van het ontwerp van de Voorhavendijk van de Beatrixsluizen wordt niet verwacht dat de hoogte opgave toeneemt.

8 Conclusie

In deze rapportage zijn de vier studies die ten grondslag liggen aan de huidige veiligheidsopgave nader beschouwd en gebundeld. Uit deze beschouwing blijkt dat de voorgaande vier studies zijn gebaseerd op steeds verschillende uitgangspunten en daarom moeilijk onderling zijn te vergelijken. Per faalmechanisme zijn steeds de meest recente veiligheidsbeoordeling overgenomen wat leidt tot onderstaand overzicht.

Op basis van de in hoofdstuk 4, 5, 6 en 7 uitgevoerde analyse voor respectievelijk de faalmechanismen macrostabiliteit binnenwaarts, macrostabiliteit buitenwaarts, piping en hoogte kan het volgende integrale veiligheidsopgave worden weergegeven.



Figuur 8-1: Assemblage beoordeling beschouwde faalmechanismen (macro binnenwaarts, macro buitenwaarts, piping en hoogte) met oordeel voldoende (groen) en onvoldoende (rood) en niet beoordeeld (grijs)

Macrostabiliteit binnenwaarts

Om de dominante uitgangspunten te kunnen bepalen die er voor zorgen dat het faalmechanisme binnenwaartse macrostabiliteit als onvoldoende wordt beoordeeld zijn enkele verkennende berekeningen uitgevoerd waarbij een beperkte gevoeligheidsanalyse van de grondparameters is uitgevoerd. Voor deze verkennende stabiliteitsberekeningen is gebruik gemaakt van bestaande rekenfiles (D-Geo Stability). Het in beeld brengen van de gehanteerde uitgangspunten en grondparameters bleek echter een uitdaging. Dit werd veroorzaakt door de volgende punten:

- Gedurende de looptijd van de verschillende studies (2015-2018) zijn steeds nieuwe ervaringen opgedaan op het gebied van het ontwerpen op basis van ongedraineerde sterkte. Dit resulteert in zeer uiteenlopende werkwijzen van de verschillende stabiliteitsberekeningen.
- Met de voorgaande en huidige versie van D-Geo Stability (recentste versie is 18.1) is het moeilijk om tijdens de verschillende ontwerpomstandigheden de spanningstoestand in de ondergrond te schematiseren. Hiervoor zijn door de verschillende opstellers van de 4 rapporten verschillende spreadsheets ontwikkeld om de spanningstoestand van de ondergrond te berekenen. Deze spreadsheets genereren vervolgens invoer voor een D-Geo Stability berekening. De opgestelde spreadsheets zijn echter zeer complex opgezet en niet controleerbaar en reproduceerbaar voor derden.
- Onduidelijk is hoe de kwaliteitsborging van deze spreadsheets is vastgelegd.

Om toch op basis van de bestaande stabiliteitsberekeningen een indruk te kunnen krijgen wat de invloed is van de gehanteerde uitgangspunten is op binnenwaartse stabiliteit is als uitgangspunten gehanteerd dat

de spanningssituatie van de verschillende grondlagen die in de bestaande berekening is ingevoerd (gebaseerd op verschillende spreadsheets) als correct wordt beschouwd. De gehanteerde spanningssituatie en grondparameters worden daarom niet nader beschouwd.

Om een indruk te krijgen met betrekking tot de gevoeligheid van de gehanteerde sterkteparameters zijn ook aanvullende berekeningen gemaakt met een aangepaste grondparameterset. Hierbij zijn de volgende parametersets gehanteerd:

- Standaard grondparameterset conform de Schematiseringshandleiding Macrostabieleit. Deze standaard grondparameters mogen worden toegepast in heel Nederland en zijn daarom zeer conservatief (parameterset 1).
- Grondparameterset die is gehanteerd in de beoordeling van de Voorhavendijk Beatrixsluis (parameterset 2).

Uit de berekeningsresultaten van de verkennende gevoeligheidsanalyse kan worden geconcludeerd dat geen eenduidig beeld kan worden vastgesteld met betrekking tot de gehanteerde grondsterkte in de oorspronkelijke berekeningen. De gehanteerde sterkteparameters lijken enerzijds te positief en anderzijds te conservatief. Dit heeft zijn weerslag op de stabiliteit van de veiligheidsopgave. Deze is op basis van de uitgevoerde gevoeligheidsanalyse niet eenduidig vast te stellen.

Verdere algemene bevindingen:

- De geometrie van de waterkering is correct in de bestaande stabiliteitsberekeningen verwerkt.
- Schematisering van de grondopbouw is niet overal consistent. Vooral de schematisering van veenlagen op basis van alleen sonderingen is moeilijk. Aanvullende informatie uit mechanische boringen is hiervoor noodzakelijk. Het risico van schematiseren van de grondopbouw alleen op basis van sonderingen is dat de dikte van de veenlagen bij enkele dwarsprofielen wordt overschat. Dit is waarschijnlijk het geval bij dwarsprofiel 231.
- De gehanteerde stijghoogte in het watervoerende pakket ter plaatse van het achterland is conservatief. Deze is veelal 0,5 tot ca. 2 m lager dan de gehanteerde maatgevende buitenwaterstand.
- Het is niet duidelijk of in de situatie waarbij de deklaag ter plaatse van het achterland opdrijft of opbarst de grenspotential in rekening is gebracht. Wanneer dit niet is gedaan wordt een te hoge stijghoogte ter plaatse van het achterland in rekening gebracht. De gevonden stabiliteitsfactor is dan kleiner.
- De gehanteerde spanningssituatie en grondsterkte in de bestaande stabiliteitsberekeningen is gebaseerd op verschillende excelsheets en is moeilijk te controleren. Controle van de spanningssituatie is nu niet gedaan omdat deze grote inspanning onvoldoende meerwaarde voor het project in deze fase biedt. Nieuwe programmatuur (D-GEO Suite) biedt voor nieuwe berekeningen een beter overzicht.
- De drie nader beschouwde stabiliteitsberekeningen zijn allen berekend met het Spencer glijvlakmodel dat voor deze stabiliteitsanalyse het correcte model is. Wanneer opdrijven van het achterland optreedt, zoals het geval is bij dwarsprofiel 231, is een berekening met het glijvlakmodel LiftVan echter ook noodzakelijk. Dit kan leiden tot een lagere stabiliteitsfactor.

Macrostabieleit buitenwaarts

De buitenwaartse macrostabieleit is slechts op een beperkt gedeelte van het traject van CUB beoordeeld. Dit geldt voor de Voorhavendijk bij de Beatrixsluis en het dijkvak Honswijkerwaard (dp 246 – dp 259). Beide dijkvakken voldoen niet voor de belastingsituatie val na hoogwater.

Piping

De beoordeling van het faalmechanisme piping is gebaseerd op verschillende onderzoeken met afwijkende uitgangspunten waaronder ook het zichtjaar. Verwacht wordt dat wanneer de hydraulische randvoorwaarden worden aangepast aan het zichtjaar 2073 meer dijkvakken niet zullen voldoen aan de norm. Optimalisatie van verschillende parameters is echter mogelijk. Met name het nauwkeurig in kaart brengen van de in- en uittredepunten alsook het verwerken van de resultaten van aanvullend grondonderzoek en nog uit te voeren/uitgevoerde lodingen kunnen vanwege de conservatieve aanpak van de meeste beoordelingen nog leiden tot goedkeuring van een aantal dijkvakken.

Vooralsnog wordt geconcludeerd dat voor een groot gedeelte van het deeltraject CUB de waterkering niet voldoet aan de gestelde eisen voor het faalmechanisme piping. Gezien de conservatieve uitgangspunten en de extreme variaties tussen aangrenzende dijkvakken kan bovenstaand geassembleerd beoordeling nog wijzigen gedurende de verkenningsfase.

Hoogte

Geconcludeerd kan worden dat aan de westzijde nabij de A27 sprake is van een hoogtetekort binnen het deeltraject CUB.

Vooralsnog wordt geconcludeerd dat voor een klein gedeelte van het deeltraject CUB de waterkering niet voldoet aan de gestelde eisen voor het faalmechanisme hoogte. De gehanteerde uitgangspunten zijn echter niet eenduidig. Dit geldt met name voor de manier waarop de hydraulische randvoorwaarden zijn afgeleid.

Op basis van de resultaten uit de beoordeling van de hoogte bij de Honswijkerwaard alsook de beoordeling van het ontwerp van de Voorhavendijk van de Beatrixsluizen wordt niet verwacht dat de hoogte opgave toeneemt.



Projectgerelateerd



A1 Factsheets CUB

Dijkvak 44-1_1

Algemene informatie

Ligging:

Het vak loopt van dijkpaal 202 tot dijkpaal 218. De grens voor dijkversterking CUB start bij Dijkpaal 203 (de weg naar de Culemborgse Veer).

Kenmerken:

- Halverwege wordt het vak doorsneden door een spoorbrug. Deze spoorbrug behoort tot de spoorlijn Houten - Culemborg.
- Over de waterkering loopt een smalle weg
- Nabij de spoorbrug buigt de weg af en gaat middels een tunnel onder de spoorbrug door.
- De tunnel ligt met een hoek binnen de kernzone van de waterkering
- Het voorland heeft een afstand tot de rivier van circa 600 m tot 700 m
- In het voorland zijn 2 grote waterpartijen te onderscheiden
- Aan de Veerweg ligt buitendijks nog bebouwing
- In het achterland liggen een aantal boerderijen
- Bij de spoorbrug ligt in het achterland ook een waterpartij

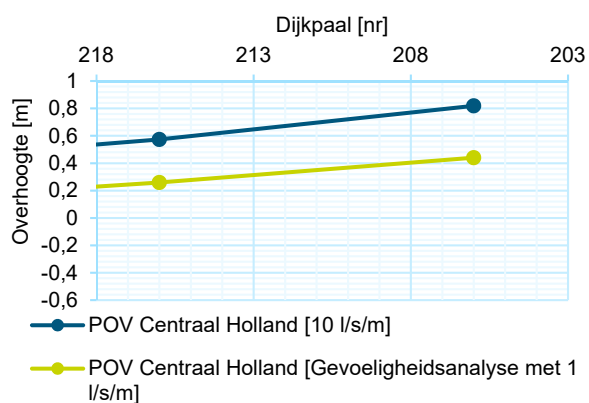


Directe faalmechanismen

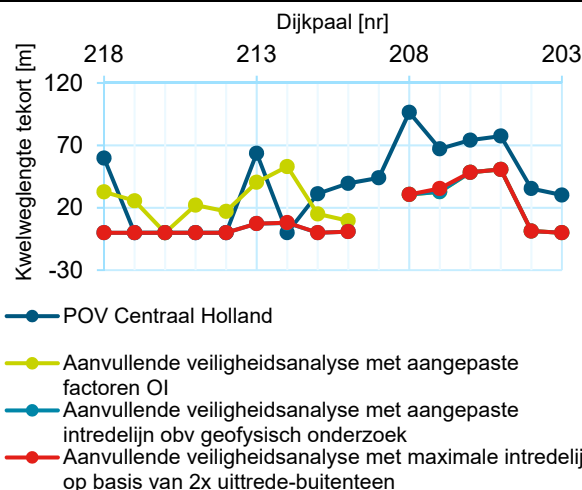
Hoogte

Piping

Zichtjaar 2023


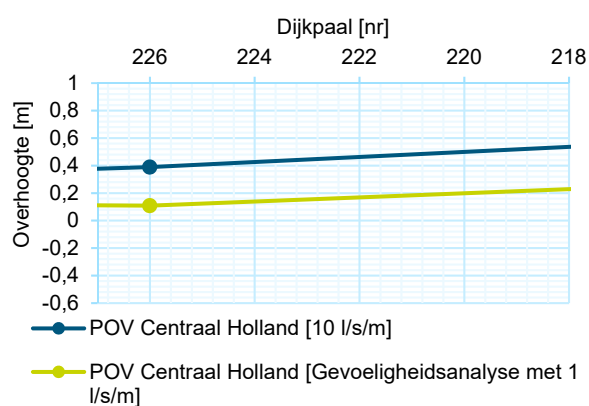
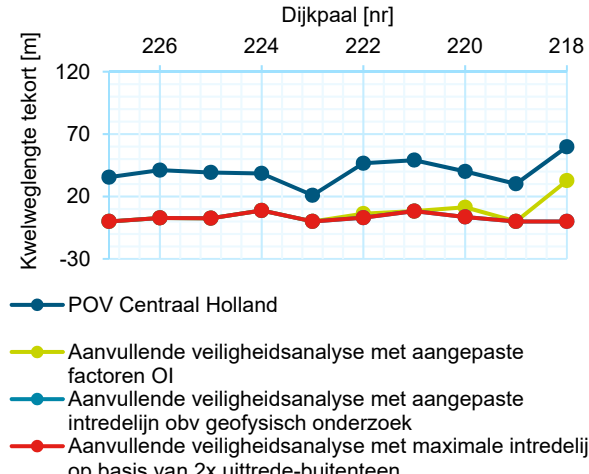




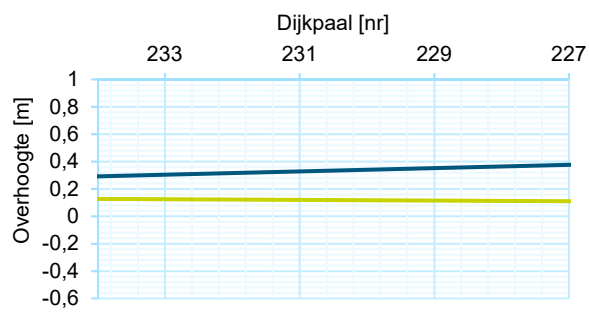
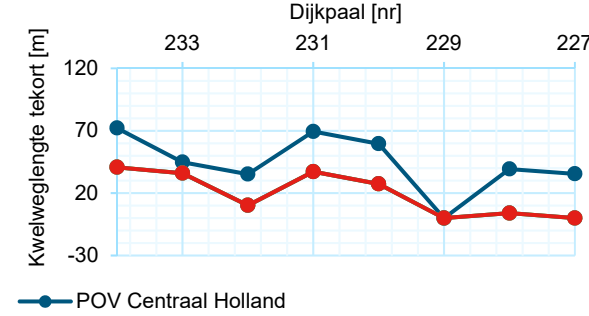
Positief = overschot, negatief = tekort)



Macrostabieliteit Binnenwaarts

POV Centraal Holland		Aanvullende veiligheidsanalyse 2017	
SF _{eis} = 1.38		SF _{eis} = 1.38	
Dijkpaal	SF _{min}	Deeltraject	SF _{min}
203	1,11	Dijkpaal 202 tot 209	0,97
		Dijkpaal 209 tot 212+50	0,97
		Dijkpaal 212+50 tot 215	2,12
		Dijkpaal 215 tot 218	1,52

Dijkvak 44-1_2			
Algemene informatie			
<p><u>Ligging:</u> Het vak loopt van dijkpaal 218 tot dijkpaal 227.</p> <p><u>Kenmerken:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Begrenst door Hollandse waterlinie aan westzijde ■ Kazematten in voor-en achterland (zie foto) 			
Directe faalmechanismen			
Hoogte		Piping	
Zichtjaar 2023			
 <p>Overhoogte [m]</p> <p>Dijkpaal [nr]</p> <p>● POV Centraal Holland [10 l/s/m]</p> <p>● POV Centraal Holland [Gevoeligheidsanalyse met 1 l/s/m]</p>		 <p>Kwelweglengte tekort [m]</p> <p>Dijkpaal [nr]</p> <p>● POV Centraal Holland</p> <p>● Aanvullende veiligheidsanalyse met aangepaste factoren OI</p> <p>● Aanvullende veiligheidsanalyse met aangepaste intredelijn obv geofysisch onderzoek</p> <p>● Aanvullende veiligheidsanalyse met maximale intredelijn op basis van 2x uittrede-buitenteen</p>	
Macrostabiliteit Binnenwaarts			
POV Centraal Holland		Aanvullende veiligheidsanalyse 2017	
SF_{eis} = 1.38		SF_{eis} = 1.38	
Dijkpaal	SF_{min}	Deeltraject	SF_{min}
294 (dijkpaal met zelfde bodemeenheid)	1,64	218-227	1.65

Dijkvak 44-1_3			
Algemene informatie			
<p><u>Ligging:</u> Het vak loopt van dijkpaal 227 tot dijkpaal 234.</p> <p><u>Kenmerken:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Begrenst door Hollandse Waterlinie aan oostzijde 		 	
Directe faalmechanismen			
Hoogte		Piping	
Zichtjaar 2023			
 <p>Overhoogte [m]</p> <p>Dijkpaal [nr]</p> <p>POV Centraal Holland [10 l/s/m]</p> <p>POV Centraal Holland [Gevoelighedsanalyse met 1 l/s/m]</p>		 <p>Kwelweglengte tekort [m]</p> <p>Dijkpaal [nr]</p> <p>POV Centraal Holland</p> <p>Aanvullende veiligheidsanalyse met aangepaste factoren OI</p> <p>Aanvullende veiligheidsanalyse met aangepaste intredelijjn obv geofysisch onderzoek</p> <p>Aanvullende veiligheidsanalyse met maximale intredelijjn op basis van 2x uittrede-buitenteen</p>	
Macrostabieliteit Binnenwaarts			
POV Centraal Holland		Aanvullende veiligheidsanalyse 2017	
SF_{eis} = 1.50		SF_{eis} = 1.38	
Dijkpaal	SF_{min}	Deeltraject	SF_{min}
234	1,35	227 – 234	1,69

Dijkvak 44-1_4

Algemene informatie

Ligging:

Het vak loopt van dijkpaal 234 tot dijkpaal 244.

Kenmerken:

- Begrenst door fort Honswijk aan oostzijde

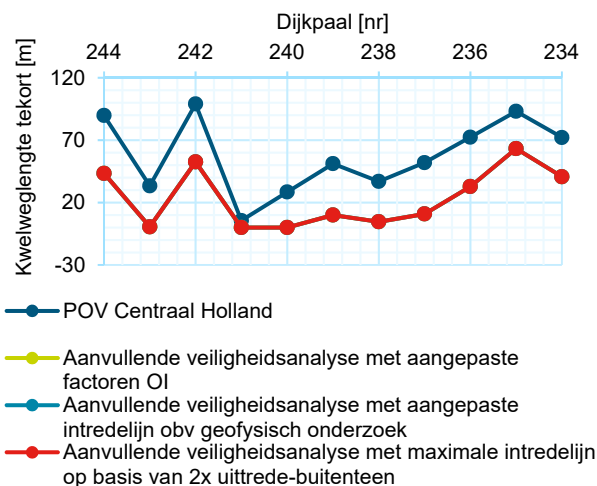
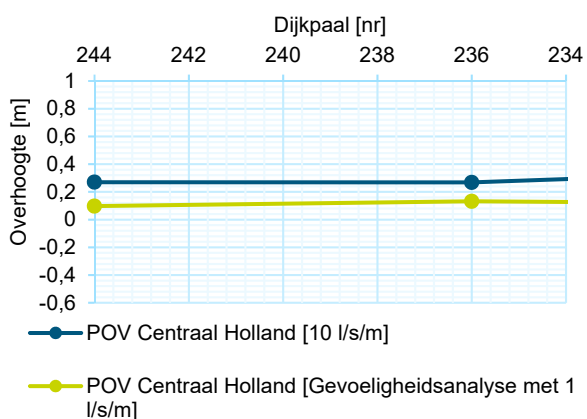


Directe faalmechanismen

Hoogte

Piping


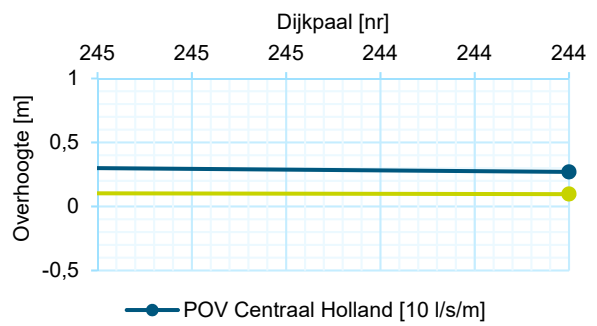
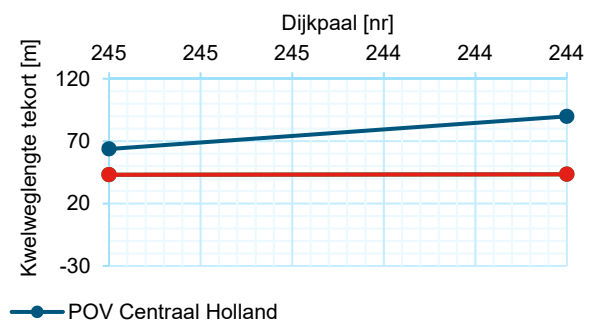
Zichtjaar 2023



Positief = overschot, negatief = tekort)

Macrostabieliteit Binnenwaarts

POV Centraal Holland		Aanvullende veiligheidsanalyse 2017	
$SF_{eis} = 1.38$		$SF_{eis} = 1.38$	
Dijkpaal	SF_{min}	Deeltraject	SF_{min}
239	1,11	234 – 243	1,14
		243 – 244	1,14

Fort Honswijk	
Algemene informatie	
<p><u>Ligging:</u> Geen officiële dijkpaalnummering</p> <p><u>Kenmerken:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> ■ Fort Honswijk ■ Bomen op de waterkering ■ Oude inundatiesluis ■ Damwanden ■ In legger waterschap HDSR wordt melding gemaakt van opzetten peil gracht ter voorkomen van opbarsten bodem bij hoogwater 	 <p style="text-align: center;">--- Globale ligging primaire kering</p>
Directe faalmechanismen	
Hoogte	Piping
Zichtjaar 2023	
 <p>Overhoogte [m]</p> <p>Dijkpaal [nr]</p> <p>POV Centraal Holland [10 l/s/m]</p> <p>Positief = overschot, negatief = tekort)</p>	 <p>Kwelweglengte tekort [m]</p> <p>Dijkpaal [nr]</p> <p>POV Centraal Holland</p> <p>Aanvullende veiligheidsanalyse met aangepaste factoren OI</p> <p>Aanvullende veiligheidsanalyse met aangepaste intredelijn obv geofysisch onderzoek</p> <p>Aanvullende veiligheidsanalyse met maximale intredelijn op basis van 2x uittrede-buitenteen</p>

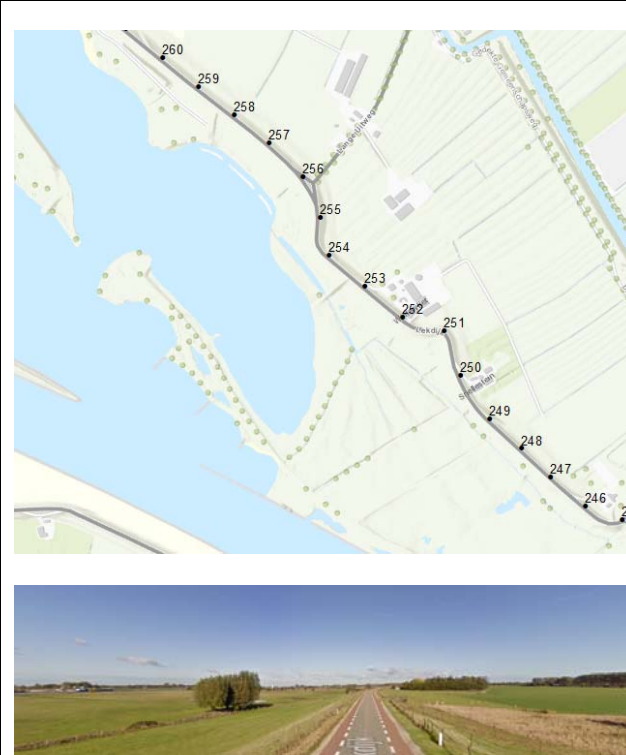
Dijkvak 44-1_6

Algemene informatie

Ligging:
Het vak loopt van dijkpaal 245 tot dijkpaal 260.

Kenmerken:

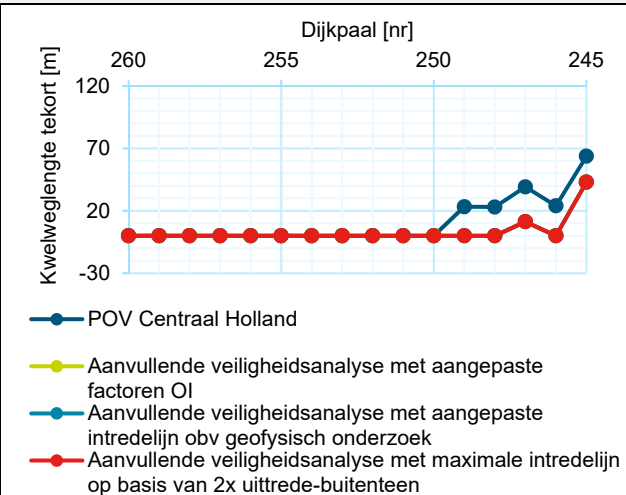
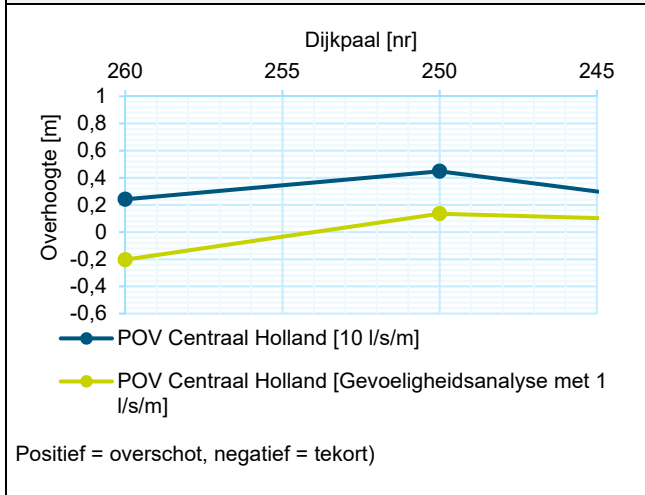
- Begrenst door fort Honswijk aan oostzijde
- Voormalig zandwinputten in het voorland bij de Honswijckerplas. Deze putten zijn (deels) opgevuld met grond dat is vrijgekomen bij de verplaatsing van de Voorhavendijk van de Beatrixsluizen.



Directe faalmechanismen

Hoogte	Piping
--------	--------

Zichtjaar 2023



Macrostabiliteit Binnenwaarts

POV Centraal Holland		Aanvullende veiligheidsanalyse 2017	
SF_{eis} = 1.38		SF_{eis} = 1.38	
Dijkpaal	SF _{min}	Deeltraject	SF _{min}
248	1,47	245 – 260	1,62

Dijkvak 44-1_7

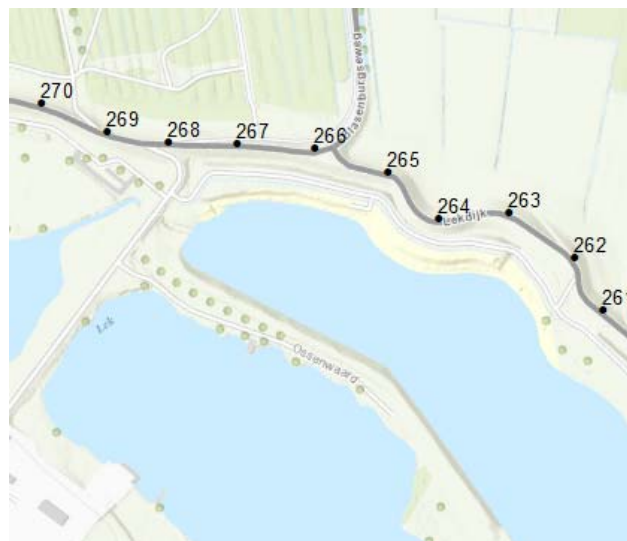
Algemene informatie

Ligging:

Het vak loopt van dijkpaal 260 tot dijkpaal 270.

Kenmerken:

- Begrenst door fort Honswijk aan oostzijde
- Voormalig zandwinputten in het voorland bij de Honswijckerplas

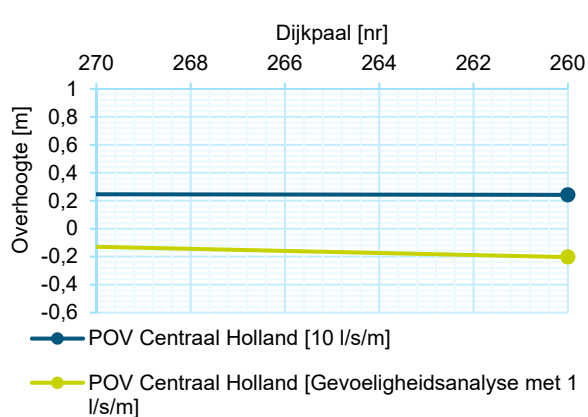


Directe faalmechanismen

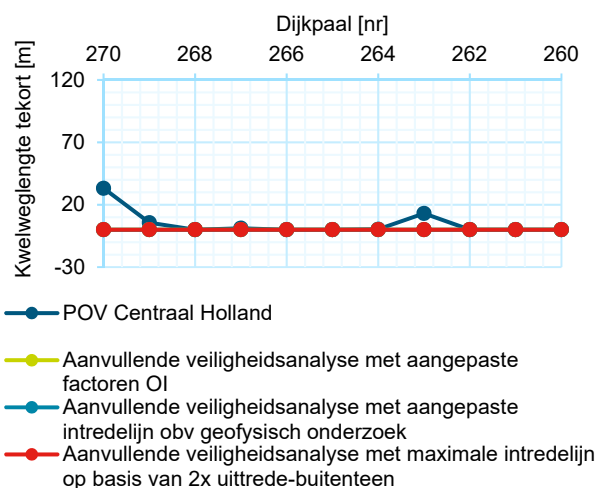
Hoogte

Piping

Zichtjaar 2023



Positief = overschot, negatief = tekort)



Macrostabieliteit Binnenwaarts

POV Centraal Holland

Aanvullende veiligheidsanalyse 2017

SF_{eis} = 1.38

SF_{eis} = 1.38

Dijkpaal	SF _{min}	Deeltraject	SF _{min}
283	0,93	260 – 270	1,04

Dijkvak 44-1_8

Algemene informatie

Ligging:

Het vak loopt van dijkpaal 270 tot dijkpaal 275.

Kenmerken:

- Stuwcomplex in voorland

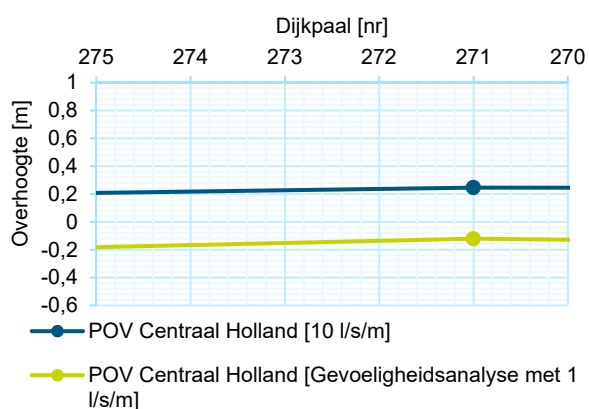


Directe faalmechanismen

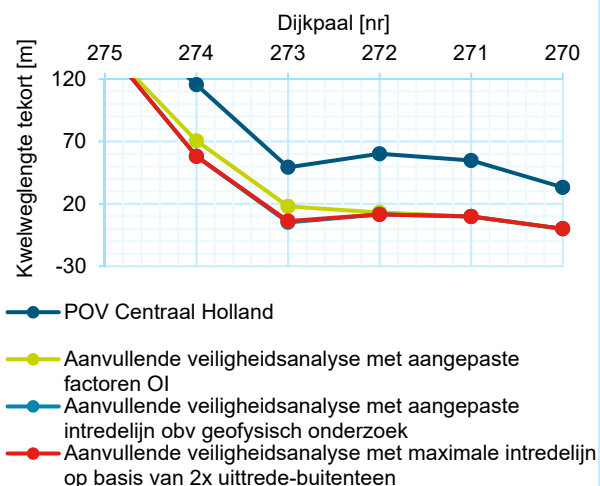
Hoogte

Piping

Zichtjaar 2023



Positief = overschot, negatief = tekort)



Macrostabiliteit Binnenwaarts

POV Centraal Holland		Aanvullende veiligheidsanalyse 2017	
SF _{eis} = 1.38		SF _{eis} = 1.38	
Dijkpaal	SF _{min}	Deeltraject	SF _{min}
274	1,83	270 – 275	1,82

Dijkvak 44-1_9

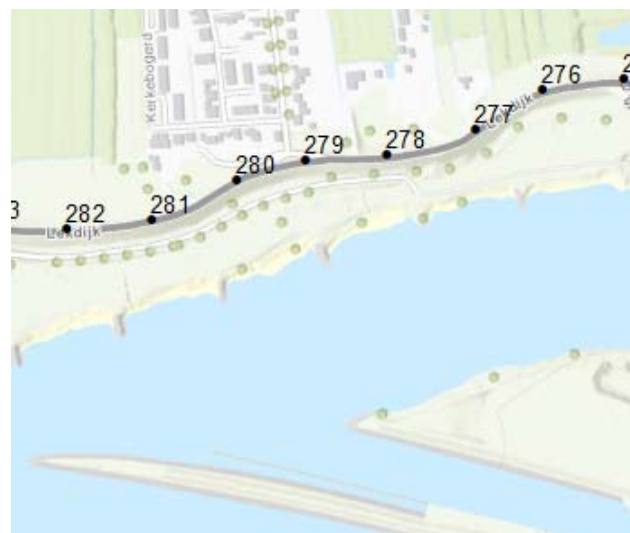
Algemene informatie

Ligging:

Het vak loopt van dijkpaal 275 tot dijkpaal 282.

Kenmerken:

- Woning Buitendijks
- Dorp Tul en 't Waal

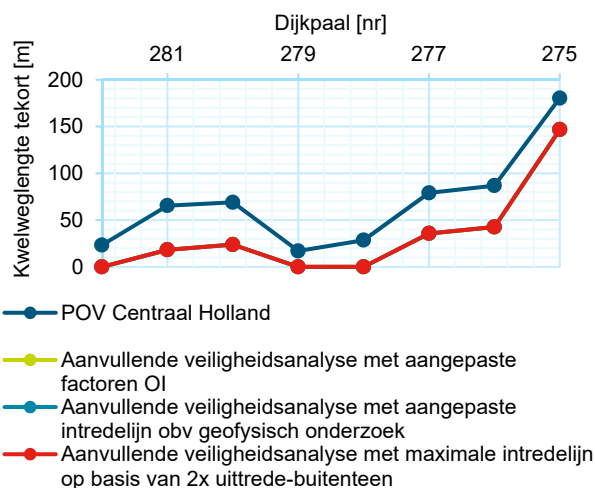
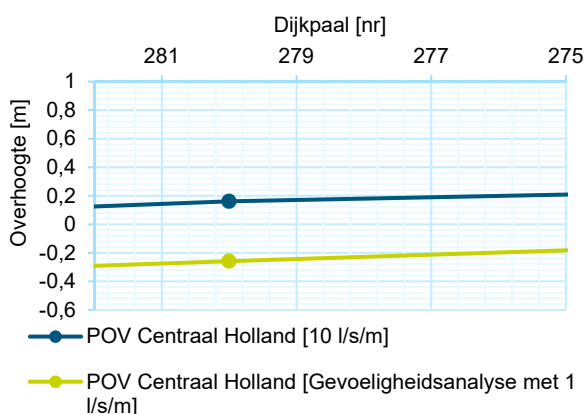


Directe faalmechanismen

Hoogte

Piping

Zichtjaar 2023



Positief = overschot, negatief = tekort)

Macrostabielteit Binnenwaarts

POV Centraal Holland		Aanvullende veiligheidsanalyse 2017	
SF _{eis} = 1.50		SF _{eis} = 1.50	
Dijkpaal	SF _{min}	Deeltraject	SF _{min}
277	1,43	275 – 282	2,11

Dijkvak 44-1_10

Algemene informatie

Ligging:
Het vak loopt van dijkpaal 282 tot dijkpaal 285.

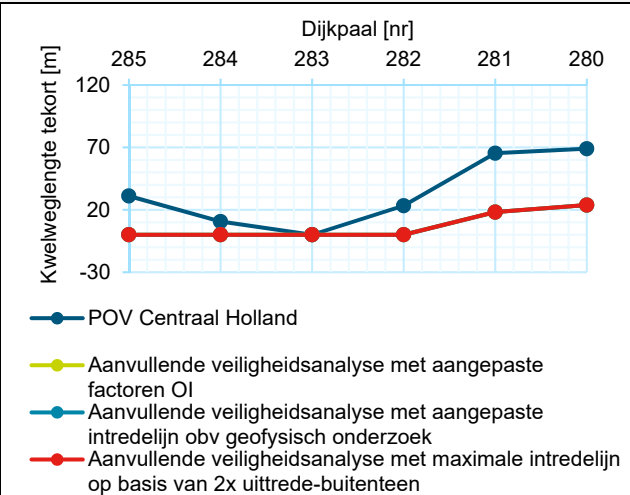
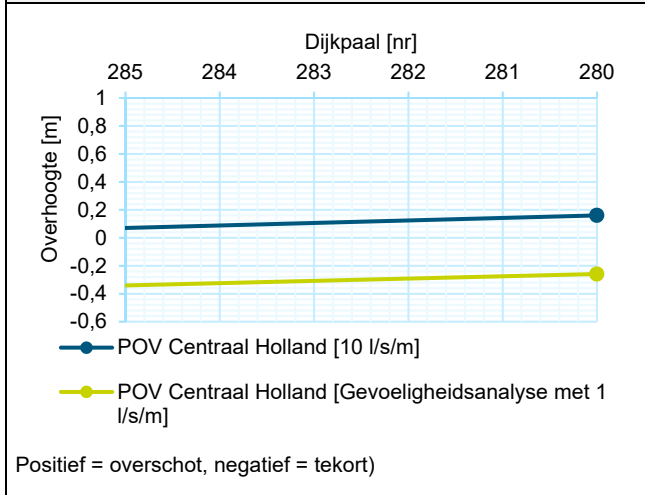
Kenmerken:



Directe faalmechanismen

Hoogte	Piping
--------	--------

Zichtjaar 2023



Macrostabielteit Binnenwaarts

POV Centraal Holland		Aanvullende veiligheidsanalyse 2017	
$SF_{eis} = 1,38$		$SF_{eis} = 1,50$	
Dijkpaal	SF_{min}	Deeltraject	SF_{min}
		282 – 285	1,03

Dijkvak 44-1_11

Algemene informatie

Ligging:

Het vak loopt van dijkpaal 285 tot dijkpaal 291.

Kenmerken:

- Stroomafwaarts van stuwcomplex
- Recente aanpassingen voorland

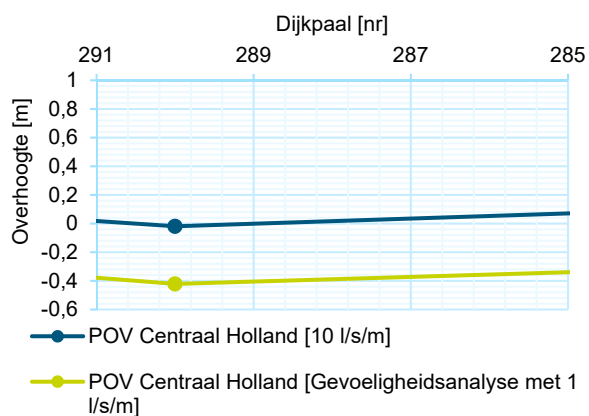


Directe faalmechanismen

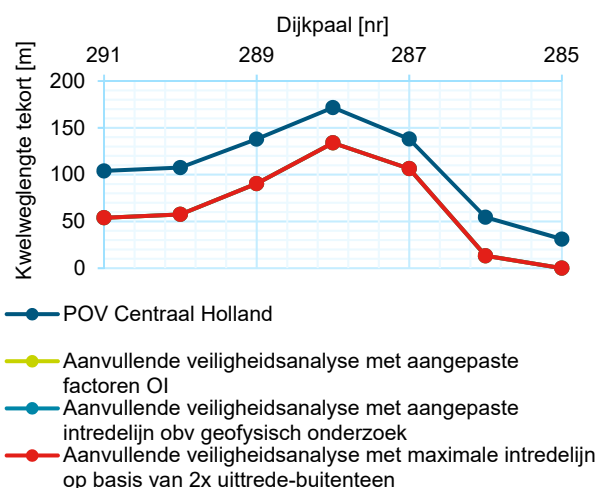
Hoogte

Piping

Zichtjaar 2023



Positief = overschot, negatief = tekort)



Macrostabieliteit Binnenwaarts

POV Centraal Holland		Aanvullende veiligheidsanalyse 2017	
SF _{eis} = 1.38		SF _{eis} = 1.38	
Dijkpaal	SF _{min}	Deeltraject	SF _{min}
203	1,11	285 – 291	1,22

Dijkvak 44-1_12

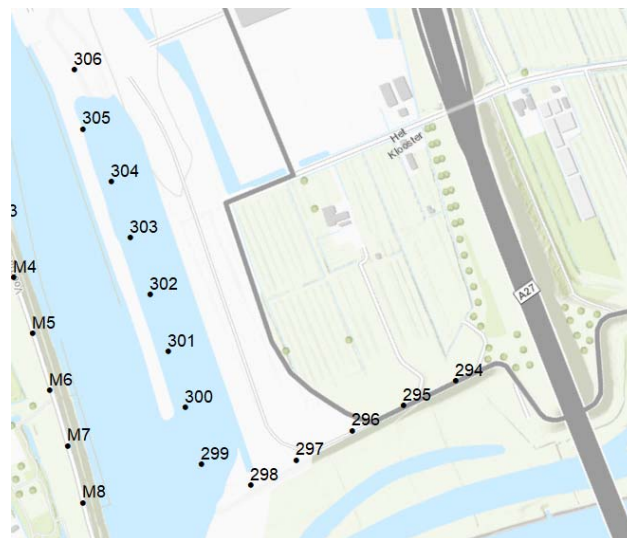
Algemene informatie

Ligging:

Het vak loopt van dijkpaal 291 tot dijkpaal 306.

Kenmerken:

- Vanaf dijkpaal 288 tot 306 is de voorhavendijk. Deze is in beheer RWS maar wordt overgedragen aan HDSR. Deze dijk is recent nog versterkt. Resultaten uit POV Centraal Holland of de aanvullende veiligheidsanalyse 2017 zijn hier dus niet meer van kracht.

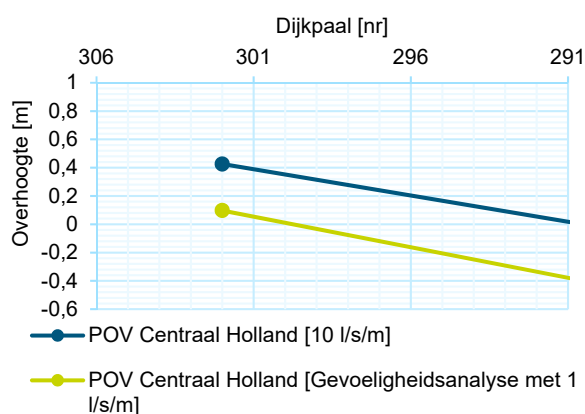


Directe faalmechanismen

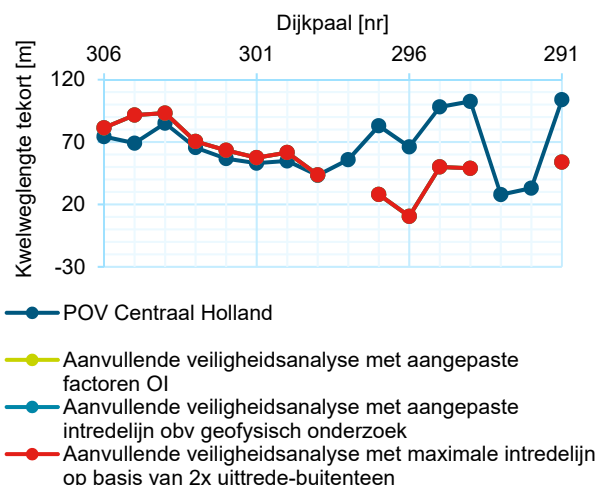
Hoogte

Piping

Zichtjaar 2023



Positief = overschot, negatief = tekort)



Macrostabiliteit Binnenwaarts

POV Centraal Holland

Aanvullende veiligheidsanalyse 2017

SF_{eis} = 1.50

SF_{eis} = 1.50

Dijkpaal	SF _{min}	Deeltraject	SF _{min}
294	1,26	293 – 305	1,30