



PO Box 5094
2600 GB Delft
The Netherlands
Elektronicaweg 2
2628 XG Delft
T +31 88 99 04 500

VBK NAUERNASCHE VAART WEST (NNV) FASE 2

DO rapportage sectie 1



Ref.:1800904A20-R20-106
Versie 2.0
09 april 2020

Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier

Opdrachtgever HHNK
 Contactpersoon Rob Weijling
 Adres Stationsplein 136
 1703 WC Heerhugowaard

RPS advies- en ingenieursbureau bv

Auteur(s) Luc ter Schiphorst
 Projectleider Jordi Molenaar
 Gecontroleerd door Youri van den Herik
 Projectreferentie 1800904A20-R20-106
 Versie 2.0
 Totaal aantal pagina's 24, exclusief bijlagen

Handtekening



Akkoord Luc ter Schiphorst
 RPS

Handtekening



Akkoord Jordi Molenaar
 Projectleider RPS

Versie	Omschrijving	Rapport datum
0.1	Concept DO rapportage Nauernasche Vaart West fase 2	20-12-2019
1.0	Definitief DO rapportage Nauernasche Vaart West fase 2	31-01-2020
1.1	Definitief DO rapportage Nauernasche Vaart West fase 2	04-02-2020
2.0	Definitief DO rapportage Nauernasche Vaart West fase 2	09-04-2020

Dit rapport is vertrouwelijk. Geen enkel deel van dit rapport mag aan derden openbaar worden gemaakt zonder schriftelijke toestemming van RPS advies- en ingenieursbureau bv of van de opdrachtgever. Alleen aan het originele complete rapport kunnen rechten worden ontleend. Dit rapport mag UITSLUITEND in zijn geheel worden gereproduceerd.

INHOUDSOPGAVE

1.1	Aanleiding.....	5
1.2	Status kadeverbetering	6
1.3	Totstandkoming voorgenomen verbeteringen	6
1.4	Leeswijzer	6
2	PROJECTGEBIED.....	7
2.1	Sectie 1A	7
2.2	Sectie 1B	8
3	TECHNISCHE UITGANGSPUNTEN	9
3.1	Basisgegevens	9
3.2	Planperiode	9
3.3	Stabiliteitsfactor	9
3.4	Hydraulische randvoorwaarden	9
3.4.1	Verloop freatische lijn in de zettingsberekening.....	10
3.4.2	Verloop freatische lijn bij uitvoering.....	10
3.5	Bodemopbouw en geotechnische parameters.....	10
3.5.1	Sigma tau	10
3.5.2	Ophoogmateriaal.....	11
3.5.3	Samendrukkingsparameters	11
3.6	Geometrische eisen	12
3.6.1	Binnentalud	12
3.6.2	Steunberm.....	12
3.6.3	Teensloot.....	12
3.7	Verkeersbelasting.....	12
3.8	Rekenmodel	13
3.8.1	Macrostablieiteit	13
3.8.2	Zettingen	13
4	UITWERKING DEFINITIEF ONTWERP KADEVERBETERING	14
4.1	Berekeningen stabiliteit	14
4.1.1	Binnenwaartse macrostablieiteit (STBI)	14
4.1.2	Buitenwaartse macrostablieiteit (STBU)	14
4.2	Berekeningen uitvoeringsstablieiteit.....	15
4.3	Zettingsberekeningen.....	17
4.4	Berekeningen eindstablieiteit	17
5	OVERIGE ONTWERP ONDERDELEN	19
5.1	Compensatie te dempen water	19
5.2	Knelpunten met kabels & leidingen.....	19
5.3	Conditionerende onderzoeken	19
6	AANBEVELINGEN EN MONITORING.....	21
6.1	Zettingen	21
6.2	Monitoring.....	21
6.3	Uitvoeringsprotocol.....	21
7	REFERENTIELIJST	22

BIJLAGEN

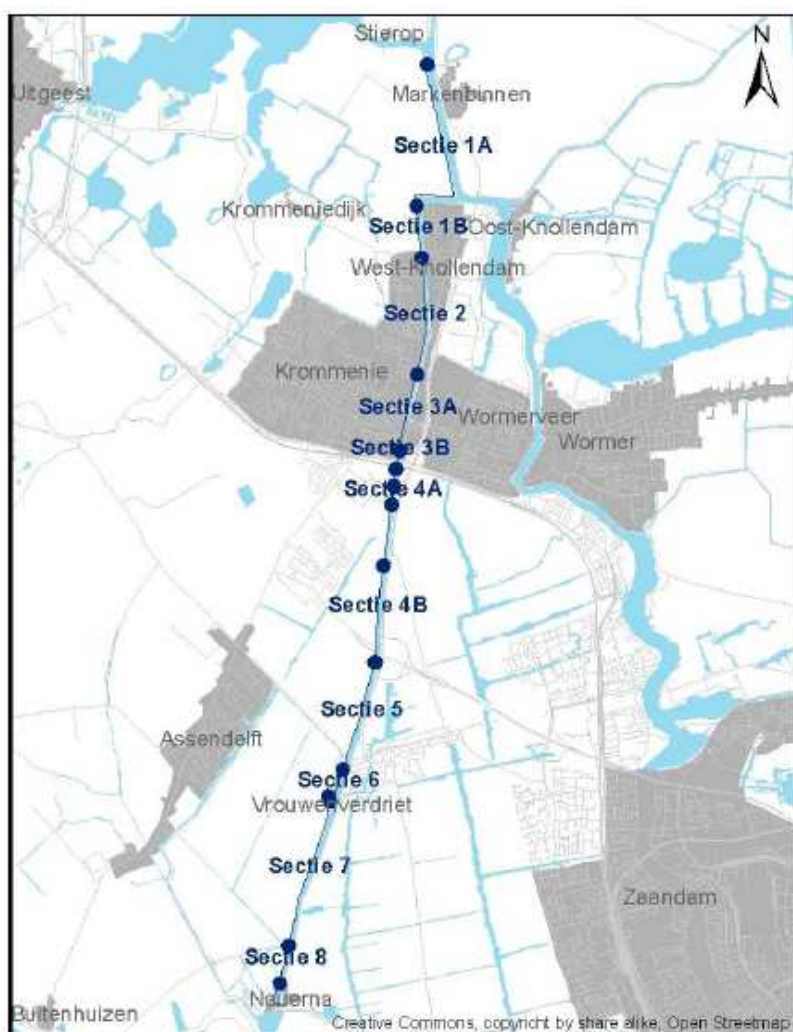
1. Analyse waterlijnbreedte sectie 1
2. Analyse DEEP-metingen
3. Berekeningsresultaten uitvoeringsstabiliteit
4. Berekeningsresultaten zettingsberekeningen
5. Berekeningsresultaten eindstabiliteit
6. DO tekeningen
7. Berekeningsresultaten STBU
8. Uitvoeringsprotocol

1. INLEIDING

1.1 Aanleiding

Het Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier (hierna: HHNK) is beheerder van ruim 1000 kilometer boezemkades. Deze boezemkades beschermen lagergelegen delen tegen overstromingen. Om het wenselijk veiligheidsniveau van deze boezemwaterkeringen te kunnen waarborgen, dienen de boezemkades te worden getoetst aan de door het Interprovinciaal Overleg (IPO) vastgestelde norm..

Voor de boezemkade langs de Nauernasche- en Markervaart is in 2012 een technische toetsing uitgevoerd. Delen van de kade zijn daarbij als ‘onvoldoende’ beoordeeld. Op basis van de resultaten van deze toetsing is besloten om de secties die afgekeurd zijn op hoogte en stabiliteit te versterken binnen het ‘Programma Verbetering Boezemkades’. Een overzicht van het gehele projectgebied is opgenomen in figuur 2.1.



figuur 2.1: Overzicht sectie-indeling conform VKA

In dit rapport wordt de uitwerking van het voorkeursalternatief (hierna: VKA) naar het definitief ontwerp (hierna DO) beschreven. De secties zijn op basis van geometrie en kenmerken verder opgesplitst in subsecties:

rps.nl

Ref.: 1800904R20-R20-106 | Versie 2.0 | 09 april 2020

- Sectie 1A (sub-secties 1A.1 t/m 1A.9)
- Sectie 1B (sub-secties 1B.1 t/m 1B.4)

1.2 Status kadeverbetering

Voor de secties 1A en 1B van de Nauernasche- en Markervaart west is reeds een VKA opgesteld. Deze staat beschreven in de rapportage 'Voorkeursalternatief (VKA) Nauernasche- en Markervaart west' met referentienummer 1601512A00-R16-070 [Ref. 1].

Een deel van het VKA voor secties 1A en 1B is reeds uitgevoerd. Van de opgestelde VKA is in 2016 namelijk de ophoging van de kruin aangebracht. De verbetering van de binnenwaartse stabiliteit (STBI) en buitenwaartse stabiliteit hebben nog niet plaatsgevonden. In juli 2017 is het VKA van sectie 1 vastgesteld, waarna in een recentere notitie in oktober 2019 het VKA opnieuw is vastgesteld. De notitie is als basis gebruikt voor de uitwerking tot DO en opgenomen in bijlage 1. In bijlage 2 is een notitie opgenomen waarin de huidige situatie van de boezem en het buitentalud zijn geanalyseerd. Hierin is een advies opgenomen over de wijze waarop de buitenwaartse verbeteropgave binnen het ontwerp wordt meegenomen. In de notitie is geconcludeerd dat STBU van 1B in de toetsing voldoende is beoordeeld. De STBU van sectie 1A wordt in deze notitie opnieuw beschouwd.

1.3 Totstandkoming voorgenomen verbeteringen

Deze rapportage volgt de uitwerking van het DO in chronologische volgorde. De werkzaamheden die tot het komen van een DO zijn uitgevoerd betreffen:

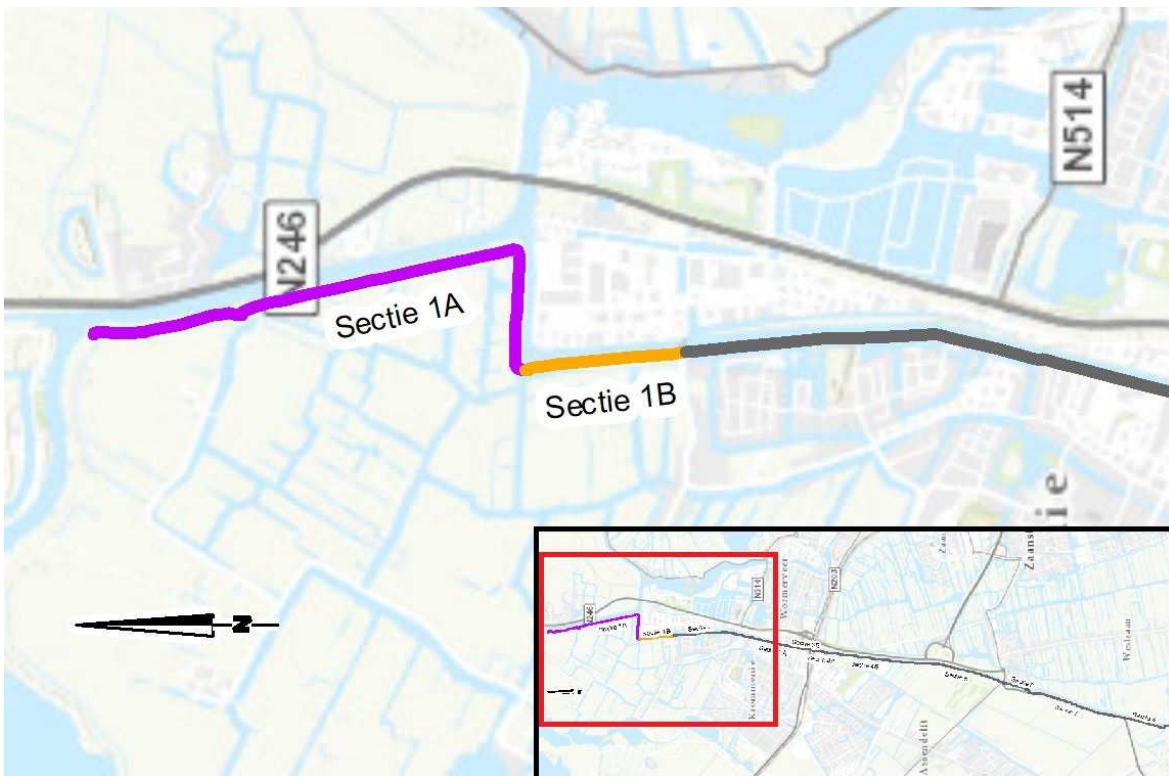
- Bepalen ontwerp STBI.
- Bepalen scope en ontwerp STBU.
- Uitvoeringsstabiliteit berekenen voor afgekeurde dijkvakken.
- Eindstabiliteit berekenen voor afgekeurde dijkvakken.
- Bepalen en adviseren in overige onderdelen van het ontwerp.
- Verbeterontwerpen verwerken op tekening (bovenaanzicht en dwarsprofielen).
- Opstellen van aanbevelingen en monitoring.

1.4 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 is het projectgebied van het DO beschreven. In hoofdstuk 3 worden de technische uitgangspunten toegelicht. In hoofdstuk 4 is het DO uitgewerkt. De overige onderdelen zijn in hoofdstuk 5 benoemd. In hoofdstuk 6 zijn aanbevelingen, monitoring en het uitvoeringsprotocol opgenomen.

2 PROJECTGEBIED

De totale lengte van de boezemkaden langs de Nauernasche- en Markervaart beslaat 11,5 km. In dit rapport wordt hier als onderdeel van de ‘complexe’ secties 2,5 km van beschreven. Dit zijn sectie 1A en 1B. In figuur 2.1 zijn de beschreven secties opgenomen.

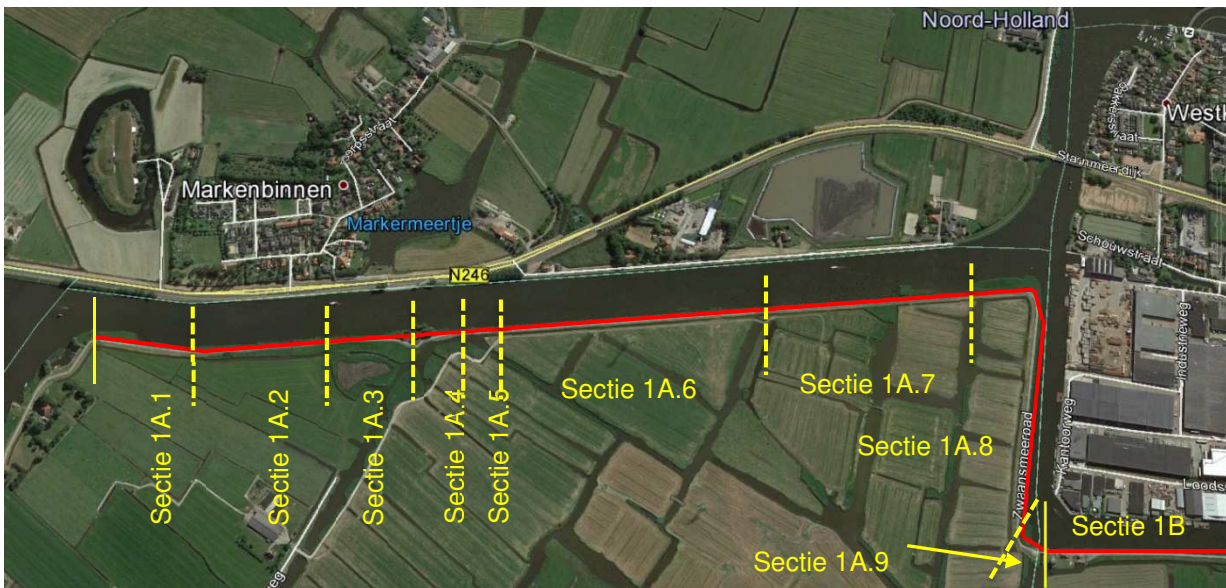


figuur 2.1: ligging te verbeteren secties Nauernasche- en Markervaart

2.1 Sectie 1A

Sectie 1A ligt in het landelijk gebied van gemeente Uitgeest. Op de kruin ligt fietspad het Zwaansmeepad. Het fietspad is te smal voor zwaar verkeer om in een calamiteitsituatie overheen te rijden. Het binnentalud is bekleed met gras. De binnenwaartse stabiliteit en lokaal ook de buitenwaartse stabiliteit van de boezemkade zijn hier onvoldoende.

Na analyse van de geometrie en knelpunten is in het VKA [Ref. 1] dit traject opgedeeld in 9 sub-secties. De totale lengte van sectie 1A bedraagt 2,0 km. In figuur 2.2 zijn deze sub-secties weergegeven.

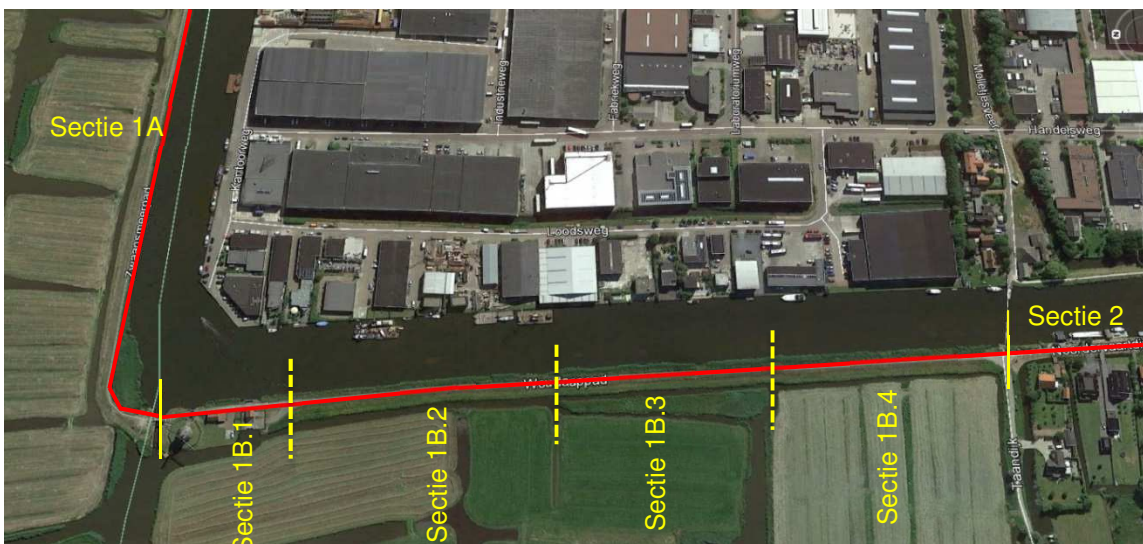


figuur 2.2: Ligging sectie 1A (bron: Google Earth)

2.2 Sectie 1B

Sectie 1B ligt in landelijk gebied van gemeente Zaanstad. Op de kruin ligt het fietspad Woudaapad. Het binnentalud is bekleed met gras. De binnenwaartse stabiliteit van de boezemkade voldoet niet aan de norm, deze is onvoldoende.

Na analyse van de geometrie en de knelpunten is in het VKA [Ref. 1] dit traject opgedeeld in 4 sub-secties. De totale lengte van sectie 1B bedraagt 560 m. In figuur 2.3 zijn deze sub-secties weergegeven.



figuur 2.3: Ligging sectie 1B (bron: Google Earth)

3 TECHNISCHE UITGANGSPUNTEN

Om tot een DO te komen, is gebruik gemaakt van de uitgangspunten zoals aangehouden in de notitie waarin het VKA geoptimaliseerd is [Ref. 2].

3.1 Basisgegevens

Het verbeterontwerp, zoals beschreven in deze rapportage, is een herziening en uitbreiding van een eerder opgesteld VKA [Ref. 1] en aanscherping [Ref. 2]. De opgestelde berekeningen vormen de basis voor de uitwerking tot het DO.

3.2 Planperiode

De kadeverbetering is in deze fase van het project ontworpen voor een planperiode van 30 jaar. Dit betekent dat binnen de planperiode van het ontwerp rekening is gehouden met de volgende aspecten:

- Zettingen.
- Ontwerpwaterstand.

3.3 Stabiliteitsfactor

De vereiste stabiliteitsfactor is opgebouwd uit de minimaal vereiste IPO-klasse, vermenigvuldigd met de modelfactor en schematiseringfactor. De schematiseringsfactor is in het VKA [Ref. 1] aangescherpt van 1,20 naar 1,10. De modelfactoren zijn aangehouden op basis van de e-mail "Wijzigingen toetsingen" op 31-10-2019 door Thijs Zonneveld, zie de tabel hieronder.

tabel 3.1: modelfactor

Glijvlakmodel	Yd
Methode Bishop	1,00
Methode Uplift Van	0,95
Methode Spencer Van-der-Meij	0,95

De vereiste stabiliteitsfactoren zijn opgenomen in tabel 3.2.

tabel 3.2: vereiste stabiliteitsfactoren ontwerp

Sectie [-]	IPO-klasse [-]	Schadefactor [-]	SF Bishop [-]	SF Lift Van [-]	SF Spencer [-]
1A	III	0,90	0,99	0,94	0,94
1B	III	0,90	0,99	0,94	0,94

3.4 Hydraulische randvoorwaarden

De waterstanden en polderpeilen zijn overgenomen uit het schetsontwerp en de aangeleverde kaarten met basisdata. Voor de waterstanden en stijghoogten zijn de waarden gehanteerd als weergegeven in tabel 3.3.

tabel 3.3: peilgegevens sectie 1

Sectie	Streefpeil	Toetspeil	Polderpeil	Stijghoogte
1A	-0,50 m	0,00 m	-1,24/-1,26 m	-0,83 m
1B	-0,50 m	0,00 m	-1,24/-1,26 m	-1,65 m

3.4.1 Verloop freatische lijn in de zettingsberekening

Het verloop van de freatische lijn in de zettingsberekening is gewijzigd ten opzichte van de verbetermaatregel. Voor de zettingsberekening is de freatische lijn en stijghoogte in de eerste zandlaag aangepast. In plaats van het maatgevend boezempeil is uitgegaan van het streefpeil op de boezem.

3.4.2 Verloop freatische lijn bij uitvoering

Voor de uitvoeringsstabiliteit is bij het schematiseren van de freatische lijn, net als bij de zettingsberekeningen, uitgegaan van het streefpeil op de boezem.

3.5 Bodemopbouw en geotechnische parameters

In augustus 2019 is de proevenverzameling van de grondsterkteparameters geüpdatet [Ref. 4]. Hiervoor zijn met de nieuwe versie van de proevenverzamelingstool, nieuwe gedraineerde schuifsterkteparameters bepaald. Deze update is vergezeld van een voorstel om ondergrenzen aan sterkte van grond te stellen bij een laag spanningsbereik. De nieuwe schuifsterkteparameters en ondergrenzen zijn voorgelegd aan de grond expertgroep van HHNK. De grondexpert groep heeft besloten om alle schuifsterkteparameters over te nemen in de nieuwe proevenverzameling. Het toepassen van de nieuwe proevenverzameling heeft geleid tot aanscherping van de berekeningen.

De regio en type kade hebben geleid tot de geotechnische eigenschappen met bijbehorende sterkteparameters in tabel 3.4 welke zijn toegepast in de berekeningen.

tabel 3.4: Geotechnische eigenschappen en sterkteparameters uit proevenverzameling

Proevenverzameling HHNK	γ_{nat}/γ_{dr}	c_{reken}	ϕ_{reken}
Klei_dijkmateriaal z_s	16,7 / 11,5	Sigma tau	
Klei_dijkmateriaal h	13,9 / 6,9	Sigma tau	
Klei_wadzanden_gelaagd o_dijk	16,3 / 10,5	Sigma tau	
Klei_onderveen s_z_h_o_dijk	15,4 / 9,1	Sigma tau	
Klei_onderveen s_z_h_n_dijk	15,3 / 9,0	Sigma tau	
Kleiig veen/Gyttja	11,5 / 4,0	Sigma tau	
Hollandveen_o_dijk- VW (ZO)	10,0 / 1,6	Sigma tau	
Hollandveen_n_dijk	10,0 / 1,4	Sigma tau	
Holoceen zand	17,0 / 19,0	0,00	26,70
Pleistoceen zand	18,0 / 20,0	0,00	30,00

3.5.1 Sigma tau

Voor de in tabel 3.4 genoemde grondsoorten waarbij 'sigma tau' is genoemd, is in tabel 3.5 en tabel 3.6 de bijbehorende waarde voor de sigma en de tau opgenomen.

tabel 3.5: Sigma tau curves 1/2

Klei dijkmateriaal z_s		Klei dijkmateriaal h		Klei wadzanden gelaagd o dijk		Klei onder veen s_z_h_o dijk		Klei onder veen s_z_h_n dijk		Kleiig veen/Gyttja	
Sigma [kN/m ²]	Tau [kN/m ²]	Sigma [kN/m ²]	Tau [kN/m ²]	Sigma [kN/m ²]	Tau [kN/m ²]	Sigma [kN/m ²]	Tau [kN/m ²]	Sigma [kN/m ²]	Tau [kN/m ²]	Sigma [kN/m ²]	Tau [kN/m ²]
0,00	4,20	0,00	0,80	0,00	0,80	0,00	4,20	0,00	4,20	0,00	1,90
6,10	4,20	1,60	0,80	1,80	0,80	3,20	4,20	4,90	4,20	2,60	1,90
200,00	137,50	200,00	105,90	200,00	90,30	200,00	109,70	200,00	100,20	200,00	79,30

tabel 3.6: Sigma tau curves 2/2

Hollandveen o dijk- VW (ZO)		Hollandveen naast	
Sigma [kN/m ²]	Tau [kN/m ²]	Sigma [kN/m ²]	Tau [kN/m ²]
0,00	4,20	0,00	2,10
10,90	4,20	5,10	2,10
200,00	76,40	200,00	81,60

3.5.2 Ophoogmateriaal

Ophogingen van waterkeringen zijn vaak kostenefficiënt en het meest makkelijk aan te brengen. Voor een regionale waterkering zijn er verschillende ophoogmaterialen, te weten:

- Zand variërend van grof naar fijn.
- Klei (niet organisch) variërend in volume gewicht.
- Licht ophoogmateriaal (zoals: bims/ketelzand).

Voor bovenstaande opvulmaterialen kunnen in de berekening de grondparameters gehanteerd worden, conform tabel 3.7.

tabel 3.7: Geotechnische eigenschappen en sterkteparameters voor ophoogmaterialen

Proevenverzameling HHNK	γ_{nat}/γ_{dr}	C_{reken}	ϕ_{reken}
Aanvulzand (fijn)	19,0 / 17,0	0,00	26,70
Aanvulzand (grof)	20,0 / 18,0	0,00	30,00
Klei zwaar (klasse 1)	16,0 / 16,0	2,50	19,80
Klei licht (klasse 2, 3)	16,0 / 16,0	0,83	17,60
Klei humeus	14,0 / 14,0	0,90	17,60

In voorgaande fases is als aanvulmateriaal dijksmateriaal z_s gehanteerd. Omdat een wijziging in sterkteparameters voor ophoogmaterialen na het uitvoeren van de DO-berekening heeft plaatsgevonden, worden de eigenschappen van het ophoogmateriaal niet aangepast.

3.5.3 Samendrukkingsparameters

Voor de zettingsberekeningen is gebruik gemaakt van de parameters zoals opgenomen in tabel 3.8.

De vastgestelde rekenwaarden van de samendrukkingsparameters zijn het gemiddelde van de NENwaarden [Ref. 5] en de parameters aangeleverd door het HHNK.

tabel 3.8: toegepaste zettingsparameters

Grondsoort [-]	Y_{nat} [kN/m ³]	Y_{dr} [kN/m ³]	C_p	$C_{p'}$	C_s	$C_{s'}$	C_v	POP [kN/m ²]
Klei_dijkmateriaal z_s	16,7	11,5	75	25	440	220	1,00E-07	10
Hollandveen_o_dijk- VW (ZO)	10,0	1,6	20	5	75	30	1,00E-07	10
Hollandveen_n_dijk	10,0	1,4	20	5	68	27,5	1,00E-07	10
Klei_onderveen s_h2_o_dijk	13,9	6,9	45	15	170	85	5,00E-08	10
Klei_onderveen s_h2_n_dijk	14,0	7,1	45	15	170	85	5,00E-08	10
Klei_dijkmateriaal h	13,9	6,9	25,5	8,5	140	70	5,00E-08	10
Holoceen zand en Aanvulzand	18,0	20,0	1000	200	1.00E+09	1.00E+09	1,00E-04	0
Klei_onderveen s_z_h_o_dijk	15,4	9,1	45	15	170	85	5,00E-08	10
Klei_onderveen s_z_h_n_dijk	15,3	9,0	45	15	170	85	5,00E-08	10
Kleiig veen/Gyttja	11,5	4,0	20	5	75	30	7,50E-08	10

Grondsoort [-]	Ynat [kN/m3]	Ydr [kN/m3]	Cp	Cp'	Cs	Cs'	Cv	POP [kN/m2]
Pleistoceen zand	18,0	20,0	1000	200	1.00E+09	1.00E+09	1,00E-04	0
Klei_dijkmateriaal z_s	16,7	11,5	75	25	440	220	1,00E-07	10
Hollandveen_o_dijk- VW (ZO)	10,0	1,6	20	5	75	30	1,00E-07	10
Hollandveen_n_dijk	10,0	1,4	20	5	68	27.5	1,00E-07	10
Klei_onderveen s_h2_o_dijk	13,9	6,9	45	15	170	85	5,00E-08	10
Klei_onderveen s_h2_n_dijk	14,0	7,1	45	15	170	85	5,00E-08	10
Klei_dijkmateriaal h	13,9	6,9	25,5	8,5	140	70	5,00E-08	10

Tijdens de uitvoering van de kadeverbetering Nauernasche vaart oost bleek dat de zettingen veel minder hard optraden, dan de berekende zettingen met bovenstaande parameters. De zettingen die in deze rapportage zijn berekend, treden in de praktijk naar verwachting minder en langzamer op.

3.6 Geometrische eisen

3.6.1 Binnentalud

Voor het binnentalud wordt, in verband met de uitvoering van onderhoud, een helling van 1:3 aangehouden. Indien dit door ruimtegebrek niet mogelijk was, is een helling van 1:2,5 toegepast.

3.6.2 Steunberm

Voor de helling van de steunberm naar de kade is uitgegaan van een helling van 1:20. Indien de steunberm aansluit op het maaiveld, is een helling van 1:5 toegepast. Daar waar dit niet mogelijk bleek, door de aanwezigheid van een teensloot of ruimtegebrek, is een helling van max. 1:3 toegepast.

3.6.3 Teensloot

Het minimale talud van de teensloten bedraagt 1:2.

3.7 Verkeersbelasting

Volgens de LTVRW (blauw) [Ref. 5] kan door de stijfheid van de asfaltverharding de verkeersbelasting gespreid worden. Hierbij mag de belasting van 13 kN/m² over 2,5 m (32,5 kN/ m1) verspreid worden over de breedte van de weg, met een maximum van 4 m.

Doordat de verharding als stijve constructie werkt, mag een belasting spreiding meegenomen worden. Voor de verkeersbelasting en spreiding zijn de waarden gehanteerd als weergegeven in tabel 3.9.

tabel 3.9: verkeersbelasting conform LTVRW (blauw)

Sectie	Verkeersbelasting		Spreiding	Opmerkingen
	[kN/m ²]	[m]		
[-]			[°]	
1A	5	1,5	18	Op de kruin ligt een fietspad. Deze is echter te smal om in calamiteitensituatie overheen te rijden met zwaar verkeer
1B	13	2,5	0	

De consolidatie in grondlagen door de verkeersbelasting wordt in cohesieve lagen op 50% gesteld, bij niet-cohesieve lagen op 100%. Dit geldt ook voor de groene kade.

3.8 Rekenmodel

3.8.1 Macrostabieliteit

De stabiliteit van de kaden is geanalyseerd met behulp van het programma D-Geo Stability (versie 18.1). Dit programma is ontwikkeld voor het ontwerp en de controle op stabiliteit van grondlichamen. De berekeningen zijn uitgevoerd met de module Spencer en Bishop. Naast de situatie direct na aanleg van de verbetermaatregelen, is ook de macrostabieliteit berekend aan het einde van de levensduur van het verbeterontwerp (30 jaar). Bij het berekenen van de macrostabieliteit aan het einde van de levensduur, ook wel de eindstabieliteit genoemd, is rekening gehouden met de verwachte zettingen na aanleg van de verbetermaatregel.

3.8.2 Zettingen

Om rekening te houden met de zettingen en consolidatie gedurende de levensduur van het verbeterontwerp, zijn deze berekend met het programma D-Settlement (versie 19.1). De volgende rekenmodellen zijn daarbij gebruikt:

- Zettingsmodel van NEN-Koppejan
- Consolidatie model van Terzaghi

4 UITWERKING DEFINITIEF ONTWERP KADEVERBETERING

In dit hoofdstuk is de uitwerking van het definitief ontwerp van de kadeverbetering opgenomen. In sectie 1A wordt totaal ca. 635 m. versterkt. In sectie 1B is dit 201 m.

4.1 Berekeningen stabiliteit

4.1.1 Binnenwaartse macrostabiliteit (STBI)

In deze paragraaf zijn de resultaten en het oordeel uit de stabiliteitsberekeningen opgenomen. De resultaten zijn overgenomen uit [Ref. 2], en in het DO niet meer gewijzigd.

tabel 4.1: resultaten stabiliteitsberekeningen (ontwerp)

Sub-sectie [-]	Ontwerp S [SF]	Norm S [SF]	Ontwerp B [SF]	Norm B [SF]	Oordeel [-]
1A.1	0,97	0,94	-	0,99	V
1A.2	1,04	0,94	-	0,99	V
1A.2	0,96	0,94	-	0,99	V
1A.3	-	0,94	1,04	0,99	V
1A.4	-	0,94	1,04	0,99	V
1A.9	1,02	0,94	-	0,99	V
1B.3	0,95	0,94	-	0,99	V
1B.4	0,97	0,94	-	0,99	V

4.1.2 Buitenwaartse macrostabiliteit (STBU)

Volgens de toetsing in 2012 is alleen sectie 1A op STBU onvoldoende beoordeeld. Sectie 1B is voldoende beoordeeld en voldoet aan de taludeis van de legger. STBU wordt voor sectie 1B in het DO niet verder beschouwd. Sectie 1A is in het VKA [Ref. 1] voor STBU geclusterd tot 3 maatgevende sub-secties, met als maatgevende sub-secties 1A.3, 1A.5 en 1A.8. Een nadere beschouwing van bodemopbouw en nieuwe geometrie heeft ertoe geleid dat sectie 1A.2 en 1A.7 nu ook berekend worden. Niet alle sub-secties zijn berekend, maar er is geclusterd op basis van maatgevende profielen. Deze clustering is opgenomen in tabel 4.2. Zo staat bijvoorbeeld bij sub-sectie 1A.1 dat de berekening van sub-sectie 1A.2 hier maatgevend voor is.

In sectie 1A is volgens [Ref. 3] een constructie in sectie 1A.8 en 1A.9 aangetroffen. Een damwandconstructie mag als forbidden line in stabiliteitsberekeningen worden opgenomen. Volgens [Ref. 6] is in de berekening maximaal de helft van de kerende hoogte onder de bodemdiepte opgenomen. Voor de berekening van deze sub-secties is geclusterd naar maatgevend profiel 1A.8

In tabel 4.2 zijn de resultaten de stabiliteitsberekeningen van STBU opgenomen.

tabel 4.2: resultaten stabiliteitsberekeningen STBU (huidige situatie)

Sub-sectie [-]	Huidig S [SF]	Norm S [SF]	Huidig B [SF]	Norm B [SF]	Oordeel [-]
1A.1	Zie 1A.2	0,90	Zie 1A.2	0,95	V
1A.2	1,09	0,90	1,25	0,95	V
1A.3	1,06	0,90	1,02	0,95	V
1A.4	Zie 1A.7	0,90	Zie 1A.7	0,95	V
1A.5	0,90	0,90	0,99	0,95	V
1A.6	Zie 1A.5	0,90	Zie 1A.5	0,95	V
1A.7	1,15	0,90	1,17	0,95	V
1A.8	0,87	0,90	0,95	0,95	V
1A.9	Zie 1A.8	0,90	Zie 1A.8	0,95	V

Sub-sectie 1A.8 en 1A.9 wordt voldoende beoordeeld, ondanks dat de stabiliteitsfactor met Spencer iets lager is dan de toetsnorm. Dit omdat de gevonden stabiliteitsfactor met Bishop voldoet aan de norm. Een belangrijkere reden voor het voldoende beoordelen van deze sub-secties, is de bodemopbouw. Vanuit grondonderzoek is de maatgevende veenlaagdikte in de kade bepaald. Uit welke grond de bodem van de vaart is opgebouwd, is niet bekend. In de huidige berekeningen is de bodem van de vaart als ‘Hollandveen_n_dijk’ geschematiseerd, een laag die dikker is dan onder de kade. Met deze conservatieve aanname wordt al een stabiliteitsfactor gevonden die met Bishop voldoet en met Spencer bijna voldoet. Er wordt verwacht dat in de bodem van de vaart geen dikkere veenlaag aanwezig is dan onder de kade. Daarnaast is volgens [Ref. 3] de bodemdpte van de vaart (direct naast de constructie) over het grootste deel van sectie 1A.8 hoger, dan in het maatgevende dwarsprofiel is geschematiseerd. De sub-secties worden hierom voldoende beoordeeld.

4.2 Berekeningen uitvoeringsstabiliteit

Tijdens de uitvoering van een dijkversterking moet de waterkerende functie gewaarborgd blijven. De uitvoeringsstabiliteit moet voldoen aan: $SF_{\text{uitvoering}} \geq SF_{\text{huidig}} \cdot SF_{\text{huidig}}$. Dit betreft de stabiliteitsfactor uit de toetsing op veiligheid voor het betreffende faalmechanisme. Afhankelijk van de grootte en het tempo waarmee een ophoging wordt aangebracht, kunnen in de slecht waterdoorlatende grondlagen van de dijk wateroverspanningen ontstaan. Door een toename van de wateroverspanningen neemt de (schuif)sterkte van de grondlagen onder de ophoging (tijdelijk) af. Dit kan als gevolg hebben dat de stabiliteit van de waterkering (lokaal) afneemt. De wateroverspanningen zullen na verloop van tijd afnemen (dissiperen) en de sterkte van de grondlagen in de ondergrond zullen dan weer toenemen. Dit betekent dat de stabiliteit naar verloop van tijd toeneemt bij een afname van de wateroverspanningen (consolidatie).

Om de veiligheid van waterkering tijdens de realisatiefase te garanderen moeten een aantal stappen worden doorlopen volgens de richtlijn [Ref. 6]. Op basis van deze stappen wordt bepaald welk detailniveau voor de uitwerking van de fasering benodigd is. In de richtlijn is een overzicht van het stappenschema gepresenteerd. Onderstaande paragrafen vormen een tekstuele onderbouwing bij de in de richtlijn benoemde stappen.

Stap 0: Controle ophoging < 0,40 m

Wanneer sprake is van een ophoging van $\leq 0,40\text{m}$ kan op basis van het definitieve ontwerp direct worden gestart met de realisatie. Wanneer dit niet het geval is, moet worden vervolgd met stap 1

tabel 4.3: Stap 0 uitvoeringsstabiliteit

Sub-sectie [-]	Ophoging < 0,40 m?	Oordeel [-]
1A.1	Ja	Stap 1
1A.2	Ja	Stap 1
1A.2	Nee	Stap 4
1A.3	Nee	Stap 4
1A.4	Ja	Stap 1
1A.9	Ja	Stap 1
1B.3	Ja	Stap 1
1B.4	Ja	Stap 1

In de stabiliteitsberekening van het DO (aanleghoogte) wordt in één keer het aanbrengen van het verbeterontwerp met 10% aanpassingspercentage van waterspanning in de cohesieve lagen bij maatgevend boezempeil berekend (maatgevende situatie zoals deze bij de veiligheidstoets is toegepast). Hierbij is met 10% afgeweken van de richtlijn [Ref. 5] van het conservatieve aanpassingspercentage van 0%, omdat gezien de standaardfasering van de uitvoering altijd enige aanpassing in de waterspanning wordt verwacht. Er is een gedetailleerde fasering benodigd om de uitvoeringsstabiliteit te garanderen, indien de berekende stabiliteitsfactor lager is dan de stabiliteit ten opzichte van de huidige situatie $SF_{\text{uitvoering}} \geq SF_{\text{huidig}}$.

tabel 4.4: Stap 1 uitvoeringsstabiliteit bij het aanbrengen in 1 ophoogslag

Sub-sectie [-]	Huidig S [SF]	Ontwerp S [SF]	Huidig B [SF]	Ontwerp B [SF]	Oordeel [-]
1A.1	0,80	0,80	0,74	0,86	V
1A.2	0,66	0,77	0,71	0,85	V
1A.4	0,55	-	0,58	0,76	V
1A.9	0,79	0,90	0,80	0,94	V
1B.3	0,81	0,87	0,90	0,90	V
1B.4	0,84	0,89	0,90	0,98	V

De stabiliteit tijdens uitvoering neemt in stap 1 niet af ten opzichte van de huidige situatie en/of voldoet direct aan de norm voor de uitvoeringsstabiliteit. Nader uitdetaileden van de fasering met behulp van stabiliteitsberekeningen is niet benodigd. De standaardfasering wordt toegepast: ophogen in slagen van maximaal 0,40 meter met een consolidatieperiode van minimaal 6 weken voor het aanbrengen van de volgende slag.

Langs de teensloten die worden versmald, wordt een naaldhouten palenrij aangebracht. Uit ervaring van diverse projecten binnen het beheersgebied van HHNK is gebleken dat het talud van de watergang in de eerste jaren na aanleg in sommige gevallen instabiel is. Om dit te voorkomen, wordt op de waterlijn een naaldhouten palenrij aangebracht. De palen hebben een lengte van 3,0 m en een diameter van 100 mm. Deze palenrij heeft echter geen constructieve waarde en is daarom niet berekend.

4.3 Zettingsberekeningen

Als gevolg van het opbrengen van materiaal zullen zettingen optreden in de ondergrond. Met de verbetermaatregelen is de zetting berekend en hiermee het gezette profiel bepaald. Voor de berekening van 1A.2 (DWP003) is gebruik gemaakt van de berekening van 1A.1. De zettingsberekening van 1A.3 is niet uitgevoerd, omdat de aanvulling minder dan 0,40 m bedraagt. Voor de berekening van 1B.3 is gebruik gemaakt van de berekening van 1B.4.

Uit zettingsberekeningen volgt bij de verbetermaatregelen een zetting in de orde van 0,30 m op de berm en 0,90 – 1,00 m in de teensloot. Met het gezette profiel is de eindstabiliteit berekend in paragraaf 4.4. De resultaten van de zettingsberekeningen zijn opgenomen in tabel 4.5.

tabel 4.5: Resultaten zettingsberekeningen (ontwerp)

Sub-sectie [-]	Maximale zetting [m.]	Locatie van de zetting
1A.1	0,95	Teensloot
1A.2	Zie 1A.1	Teensloot
1A.2	0,30	Berm
1A.3	n.v.t.	Berm
1A.4	0,90	Teensloot
1A.9	0,90	Teensloot
1B.3	Zie 1.B4	Teensloot
1B.4	1,00	Teensloot

4.4 Berekeningen eindstabiliteit

De eindstabiliteit van de verbeterprofielen is berekend om te controleren of de kade aan het eind van de planperiode (30 jaar) voldoet aan de ontwerpnorm. Dit is uitgevoerd met de gezette profielen (zie paragraaf 4.3.). Voor de berekening van 1A.2 (DWP003) is gebruik gemaakt van de berekening van 1A.1. Voor de berekening van 1B.3 is gebruik gemaakt van de berekening van 1B.4. Als resultaat van de zetting neemt de stabiliteitsfactor gemiddeld af. De resultaten van de berekeningen zijn opgenomen tabel 4.6. Voor de uitwerking van de berekeningen wordt verwezen naar bijlage 5.

tabel 4.6: Resultaten berekeningen eindstabiliteit

Sub-sectie [-]	Ontwerp S [SF]	Norm S [SF]	Ontwerp B [SF]	Norm B [SF]	Oordeel [-]
1A.1	1,04	0,94	1,00	0,99	V
1A.2	Zie 1A.1	0,94	Zie 1A.1	0,99	V
1A.2	0,96*	0,94	1,47	0,99	V
1A.3	n.v.t.	0,94	n.v.t.	0,99	V
1A.4	1,35	0,94	1,24	0,99	V
1A.9	0,91	0,94	0,92	0,99	O
1B.3	Zie 1B.4	0,94	Zie 1B.4	0,99	O
1B.4	0,91	0,94	0,99	0,99	O

* Met de spencer-berekeningen worden vreemde glijcirkels gevonden. De berekening van Bishop wordt hier maatgevend gesteld.

Uit de resultaten blijkt dat de meeste profielen binnen sectie 1A voldoen aan de norm voor eindstabiliteit. Sectie 1A.9, 1B.3 en 1B.4 zijn onvoldoende beoordeeld. Tijdens de uitvoering van de kadeverbetering Nauernasche vaart west bleek dat de zettingen veel minder hard opraden dan was berekend. Dit betekent ook dat voor de afgekeurde secties wordt verwacht dat deze minder zetten, en dus ook een hogere

stabiliteitsfactor ondervinden in de eindstabiliteit. Indien de zetting onverwachts toch groter uitvalt, dient hier in de realisatie- en nazorgfase op gestuurd te worden. Vanwege de dikke veenlaag onder de bestaande teensloot wordt aanbevolen om geen zettingscompensatie toe passen. Hierdoor zou de totale ophoging verder oplopen, wat daardoor weer meer zetting tot gevolg zou hebben.

5 OVERIGE ONTWERP ONDERDELEN

In dit hoofdstuk zijn de overige ontwerp onderdelen uitgewerkt.

5.1 Compensatie te dempen water

Door het realiseren van de verbetermaatregelen wordt wateroppervlak gedempt. Het te dempen oppervlak is:

- Sub-sectie 1A.1 en een deel van 1A.2 327 m²
- Sub-sectie 1A.4 124 m²
- Sub-sectie 1A.9 44 m²
- Sub-sectie 1B.3 307 m²
- Sub-sectie 1B.4 305 m²

Het totale oppervlak bedraagt 1.107 m². In het achterland van sectie 1B.3 bevindt zich een 'eiland'. Deze grond is eigendom van het HHNK. Het totaaloppervlak van het eiland bedraagt ca. 1.500 m². Ten tijde van het schrijven van dit voorstel is niet bekend of HHNK het gedempte wateroppervlak in dit eiland compenseert. Daarom is alleen de locatie weergegeven op de DO-tekeningen in bijlage G.

5.2 Knelpunten met kabels & leidingen

De aanwezigheid van kabels en leidingen kan bepalend zijn voor zowel bepaalde ontwerpkeuzes, alsook voor de uitvoering. Uit de Klcmelding is naar voren gekomen dat er kabels en leidingen aanwezig zijn ter plaatse van de bermaanvulling en onder de teensloot. Op basis van het verbeterontwerp zijn de volgende knelpunten gevonden en vormt de kadeverbetering een risico voor de kabels en leidingen:

- Sub-sectie 1A.1: een haaks kruisende waterleiding onder teensloot.
- Sub-sectie 1A.2: een haaks kruisende waterleiding en middenspanningskabel onder de teensloot over ca. 50 m een parallel aan de kade liggende waterleiding in de berm.
- Sub-sectie 1A.3: een haaks kruisende waterleiding, hoge- en lagedrukgasleiding en een parallel liggende waterleiding in de berm.
- Sub-sectie 1A.4: twee haaks kruisende waterleidingen onder teensloot.
- Sub-sectie 1B.3 waterleiding in insteek teensloot in berm, parallel aan de kade.
- Sub-sectie 1B.4: waterleiding in insteek teensloot in berm, parallel aan de kade.

In deze fase van het project heeft nog geen contact plaatsgevonden met leidingbeheerders. In de vervolgfase dienen deze knelpunten opgelost te zijn ten behoeve van de uitvoering.

5.3 Conditionerende onderzoeken

Ten behoeve van de kadeverbetering zijn diverse conditionerende onderzoeken uitgevoerd. In tabel 5.1 is een samenvatting opgenomen van de conditionerende onderzoeken. De Flora & Fauna rapportage is ouder dan 2 jaar. In de omgevingswet staat expliciet benoemd dat als onderbouwd kan worden dat deze gegevens nog actueel zijn, het onderzoek ouder mag zijn dan 2 jaar.

tabel 5.1: Samenvatting conditionerende onderzoeken

Secies	Onderzoek	Uitvoerende partij	Kernmerk	Datum	Bijzonderheden/Conclusie	Vervolg actie
Allen	Geotechniek	Mos	1400970	15-05-2014	N.v.t.	Geen
1	Asfalt / fundering	Unihorn	2115017-03 BA-UL-RAP	23-03-2015	Geen bijzonderheden	Geen. Werkzaamheden aan verhardingen zijn niet voorzien.
Allen	Geotechniek	Wiertsema en partners	VN-63077-1	09-11-2015	N.v.t.	Geen
1B	Landmeetkunde	DEEP	P3559	24-05-2019	Dieptemeting van de boezem. 1A is niet ingemeten, behalve 1A.8 en 1A.9.	Geen
Allen	NGE	AVG	1562128-VO-01	19-02-2016	Alle secties onderzocht, geen specifieke verwachting voor aantreffen NGE.	Geen
1	Archeologie	RAAP	RAAP-NOTITIE 5460	14-03-2016	Geen vervolgonderzoek uitvoeren. De geplande ingrepen verstoren de ongeroerde bodem niet verder.	Uitzondering is vergraving van het watercompensatie-eiland, update/check op archeologie moet er plaatsvinden. Meenemen in besteksfase.
1A	Quickscan Flora en Fauna	Waterproef	201500172v3	4-11-2015	Nader onderzoek is noodzakelijk Ontheffing van de F&F-wet is noodzakelijk m.b.t. verblijfplaatsen Noordse Woelmuis. In 1B geen Noordse Woelmuis aangetroffen.	Onderzoek is niet meer geldig, verlopen. HHNK update het onderzoek. Meenemen in besteksfase.
1	Flora en Fauna (muizen)	Waterproef	201500256v2	04-11-2015	Geen verwachting voor Noordse Woelmuis of Waterspitsmuis.	Onderzoek is niet meer geldig, verlopen. HHNK update het onderzoek. Meenemen in besteksfase.
1	Flora en Fauna (toetsing Wnb)	HHNK	17.0029691	07-03-2017	HHNK neemt zorgplicht in acht, vormgeven door middel van ecologische werkprotocollen waarin wordt beschreven hoe moet worden gewerkt om schadelijke effecten op soorten te voorkomen.	Onderzoek is niet meer geldig, verlopen. HHNK update het onderzoek. Meenemen in besteksfase.
1	Analyse waterlijnbreedte	RPS	1800904A20- N19-104	31-10-2019	Versmallen van de waterlijn tot een breedte van 2,50 m laat in zowel sectie 1A als 1B voldoen aan de toets-eis t.b.v. STBI.	Geen. Deze analyse is verwerkt in het DO.
1	Qs Historisch bodemonderzoek	RPS	1601512A00- R16-415-v2	10-10-2016	Voor sectie 1A is er geen bodemkwaliteitskaart, voor sectie 1B wel. Vervolgonderzoek nodig.	Onderzoek uitvoeren op land- en waterbodemonderzoek o.b.v. de toekomstige ingrepen. Meenemen in besteksfase.

6 AANBEVELINGEN EN MONITORING

6.1 Zettingen

Voor de samendrukkingsparameters zijn verwachtingswaarden gekozen op basis van NEN9997-1 tabel 2.b en ervaringen met eerdere soortgelijke projecten van het HHNK. Dit betekent dat er een kans bestaat dat de werkelijk optredende zettingen groter zijn dan de berekende zettingen. Dit kan de stabiliteit van de kade in negatieve zin beïnvloeden. Indien de zettingen te groot zijn, dient in een later stadium mogelijk extra grond te worden aangebracht om te voldoen aan de stabiliteitseisen. Hierbij wordt opgemerkt dat de werkelijk optredende zettingen ook kleiner kunnen zijn dan berekend, zoals vaak in het verleden bij vergelijkbare projecten is gebleken. Tijdens de uitvoering van de kadeverbetering Nauernasche vaart oost bleek dat de zettingen veel minder hard optraden, dan de berekende zettingen met bovenstaande parameters. De zettingen die in deze rapportage zijn berekend, treden op basis van deze ervaring in de praktijk naar verwachting minder en langzamer op.

6.2 Monitoring

Zettingen treden op wanneer een spanningsverhoging in de ondergrond worden gecreëerd. Dit is vaak het geval bij een verbetermaatregel in grond. De opgetreden zetting kan worden geregistreerd met behulp van een zakbaak. Op basis van de resultaten uit de zakbaak kan worden gecontroleerd of de metingen overeenkomen met de zettingsberekeningen (prognose). Wij adviseren om de optredende zettingen als gevolg van de aanvullingen te monitoren. Het doel van de monitoring is het vroegtijdig signaleren van te grote zettingen die negatieve invloed hebben op de stabiliteit.

De zettingen dienen te worden gemonitord middels zakbaken. De zakbaken dienen elke circa 75 m op verschillende plekken in het profiel te worden geplaatst:

- 2 zakbaken ter plaatse van de aanvulling in de teensloot in sectie 1A.1.
- 1 zakbaken ter plaatse van de aanvulling in de teensloot in sectie 1A.2.
- 2 zakbaken ter plaatse van de aanvulling in de teensloot in sectie 1A.4.
- 1 zakbaak ter plaatse van de aanvulling in de teensloot in sectie 1A.9.
- 4 zakbaken ter plaatse van de aanvulling in de teensloot in sectie 1B.3 en 1B.4.

Totaal dienen minimaal 10 zakbaken aangebracht te worden, waarvan per sub-sectie minimaal 1 op of nabij het maatgevende profiel.

Door het HHNK is voor het inmeten van zakbaken een inmeetprotocol opgesteld. Er wordt aanbevolen om dit inmeetprotocol te volgen. Kort samengevat dient volgens dit protocol direct na plaatsing van de zakbaken een nulmeting te worden uitgevoerd. Zowel de X en Y-coördinaten (nauwkeurigheid +/- 5 cm) als de NAP-hoogte (nauwkeurigheid +/- 1 mm) van de bovenkant van de voetplaat moeten hierbij worden ingemeten. Maximaal 1 dag voor de aanvulling en binnen 1 dag na de aanvulling dient de hoogte van de voetplaat en de hoogte van het maaiveld opnieuw te worden ingemeten. Dit geldt voor iedere ophoogslag. Vervolgens kunnen de zakbaken wekelijks worden ingemeten en na een maand 1 keer per maand. Na 3 maanden is 1 keer per 2 maanden voldoende.

6.3 Uitvoeringsprotocol

Om de risico's te beheersen die tijdens de uitvoering van negatieve invloed zijn op de waterveiligheid, is een uitvoeringsprotocol opgesteld. Hierin zijn maatregelen opgenomen voor het beheersen van risico's tijdens de uitvoering van de kadeverbetering. Hiervoor is een risico-inventarisatie gemaakt met de daarbij horende beheersmaatregelen, welke dienen te worden genomen bij een dreigende calamiteit. Het uitvoeringsprotocol is opgenomen in bijlage 8.

7 REFERENTIELIJST

- Ref. 1 1601512A00-R16-070 VKA Nauernasche Vaart complexe secties_170714, HHNK 14-07-2017
- Ref. 2 1800904A20-N19-104 Analyse waterlijnbreedte sectie 1, RPS 31-10-2019
- Ref. 3 1800904A20-N19-102-Notitie analyse DEEP-metingen_DEF_20190909, RPS 09-09-2019
- Ref. 4 Proevenverzameling HHNK V7.02, ref 083936695 D, 23-08-2019, HHNK
- Ref. 5 Leidraad toetsen op veiligheid regionale waterkeringen, Blauw, Stowa, d.d. voorjaar 2015
- Ref. 6 Richtlijnen technische toetsing, ontwerp en realisatie regionale waterkeringen, HHNK 28-06-2017
- Ref. 7 Tabel 2b uit NEN_EN 2012

Bijlage

1. Analyse waterlijnbreedte sectie 1

Bijlage

2. Analyse DEEP-metingen

Bijlage

3. Berekeningsresultaten uitvoeringsstabiliteit

Bijlage

4. Berekeningsresultaten zettingsberekeningen

Bijlage

5. Berekeningsresultaten eindstabiliteit

Bijlage

6. DO tekeningen

Bijlage

7. Berekeningsresultaten STBU

Bijlage

8. Uitvoeringsprotocol