



Technische Uitgangspunten Notitie

Kadeversterking Lappenvoort - Oosterland

projectnummer 0472575.100
definitief revisie 02
12 december 2022

Technische Uitgangspunten Notitie

Kadeversterking Lappenvoort - Oosterland

projectnummer 0472575.100

definitief revisie 02
12 december 2022

Auteurs

B. van Meekeren
V. Verdonk

Opdrachtgever

Waterschap Hunze en Aa's
Aquapark 5
9641 PJ VEENDAM

Gecontroleerd:

Henk Rozeboom



datum
12 december 2022

beschrijving
definitief

vrijgave
R. Haanstra



Inhoudsopgave

Blz.

1	Inleiding	1
1.1	Kader	1
1.2	Doel TUN	1
1.3	Vigerende projectdocumenten	1
1.4	Leeswijzer	1
1.5	Revisiebeheer	1
2	Gebiedsbeschrijving	2
2.1	Projectgebied	2
2.2	Geologische indeling projectgebied	3
3	Eisen, normen richtlijnen en leidraden	4
4	Algemene ontwerputgangspunten	5
4.1	Veiligheidseisen	5
4.2	Levensduur	5
4.3	Geometrische uitgangspunten	5
4.3.1	Principe profiel	5
4.4	Maaiveldhoogte	6
4.5	Ondergrond	6
4.6	Polderpeilen	6
4.7	Bodemdaling	8
4.8	Faalmechanismen waarop wordt ontworpen	12
5	Hydraulische uitgangspunten	13
5.1	Definities	13
5.2	Normhoogte	13
5.2.1	Waakhoogte	14
5.2.2	Golfbelasting	14
5.2.3	Erosiebestendigheid alternatieve kruinbekleding	15
6	Geotechnische uitgangspunten	18
6.1	STBI	18
6.1.1	Stabiliteitsfactor waar aan wordt getoetst	18
6.1.2	Sterkteparameters	19
6.1.3	Freatische lijn	20
6.2	Stijghoogte	20
6.3	Verkeersbelasting	20
6.4	STBU	20
6.4.1	Stabiliteitsfactor waar aan wordt getoetst	20
6.4.2	Sterkteparameters	20

6.4.3	Freatische lijn	20
6.4.4	Verkeersbelasting	21
6.5	STPH	21
6.5.1	Veiligheidsfactor waar aan wordt getoetst	21
6.5.2	Sterkteparameters	21
6.6	Zettingen	21
6.7	Uitvoeringsstabiliteit	23

7	Bibliografie	25
----------	---------------------	-----------

Bijlage 1 Kaartbijlage

1 Inleiding

1.1 Kader

In opdracht van Waterschap Hunze en Aa's voert de combinatie Bouwhuis – Antea Group het project kadeversterking Lappenvoort-Oosterland uit. Bij de eerdere toetsing, in begin 2020, is gebleken dat de kering rond bergingspolder Lappenvoort-Oosterland niet aan de hoogtenorm voldoet. In een aanvullend veldbezoek is gebleken dat tevens de stabiliteit niet overal voldoet. Uit de daarop volgende gedetailleerde toetsing voor hoogte, stabiliteit en piping door Arcadis (Arcadis, 2020) is gebleken dat meerdere trajecten niet voldoen aan de benodigde eisen voor hoogte en stabiliteit voor een regionale kering.

Ten einde de kade ter plaatse van Lappenvoort-Oosterland in orde te brengen is een kade versterking voorgenomen. Dit project zit ten tijde van schrijven in de planvormingsfase. Daarbij is een Schets Ontwerp (SO) en Voorlopig Ontwerp (VO) opgesteld.

1.2 Doel TUN

Deze technische uitgangspunten notitie (TUN) heeft de volgende doelen:

- Technische handvaten bieden voor de ontwerpfase.
Daarvoor zijn eerdere uitgangspunten uitgebreid met aanvullende zaken ten behoeve van het ontwerp.

1.3 Vigerende projectdocumenten

Dit document sluit aan bij de eerder opgestelde uitgangspunten die gebruikt zijn in de toetsing. Dit zijn:

- (Waterschap Hunze en Aa's, 2021) Ontwerpbasis/Uitgangspuntennotitie Waterveiligheid; kenmerk: 880/01.

1.4 Leeswijzer

Na de inleiding in het eerste hoofdstuk, begint hoofdstuk twee met een gebiedsbeschrijving waarin het projectgebied en de geologische indeling worden behandeld. Het derde hoofdstuk gaat in op de eisen, normen, richtlijnen en leidraden waarna in hoofdstuk vier de algemene ontwerpprincipes worden besproken. De hydraulische en geotechnische ontwerpprincipes volgen in de hoofdstukken vijf en zes.

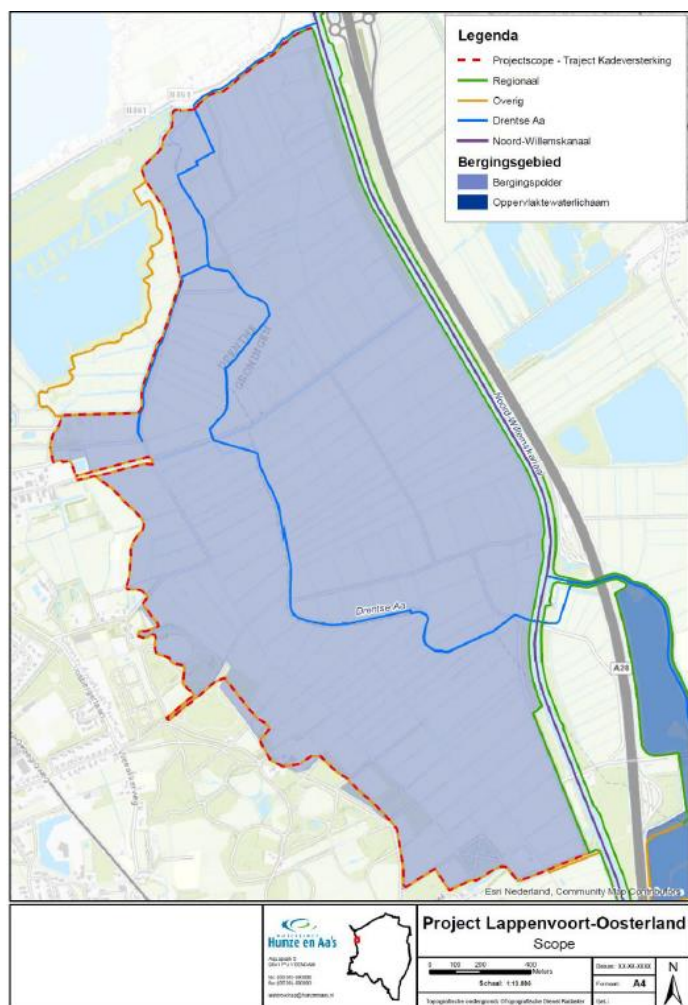
1.5 Revisiebeheer

Versie	Status	Datum	Gewijzigde hoofdstukken	Beschrijving wijzigingen
01	definitief	07-07-2022		
02	definitief	12-12-2022	6.3	Wijziging maximaal toelaatbare verkeersbelasting van 5 naar 13 kN/m ² voor dijkvak 8 t/m 12.

2 Gebiedsbeschrijving

2.1 Projectgebied

Het projectgebied betreft de kering rondom bergingsgebied Lappenvoort-Oosterland, met uitzondering van de boezemkering parallel aan het Noord-Willemskanaal. De ligging is weergegeven in Figuur 2-1.

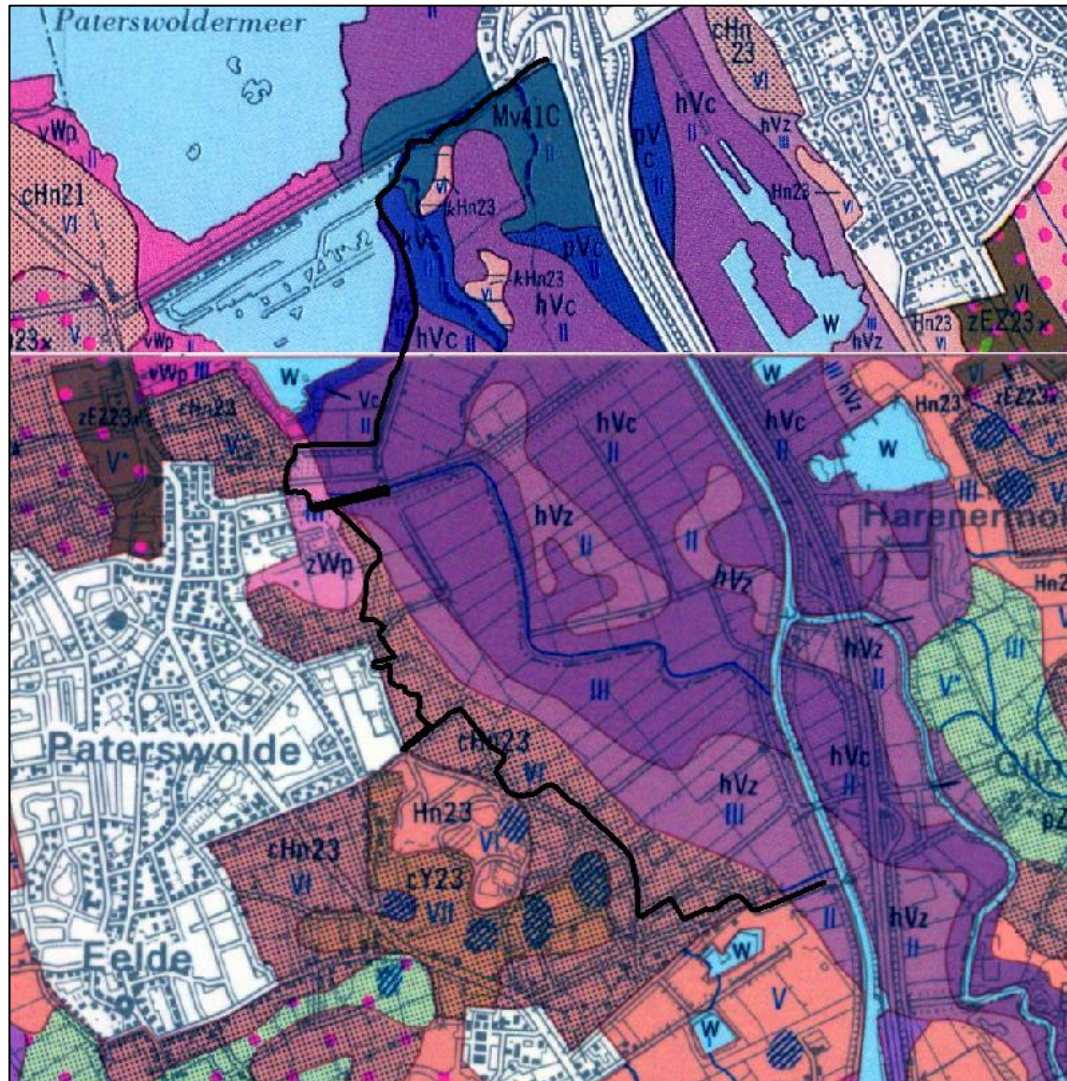


Figuur 2-1: Projectgebied

2.2 Geologische indeling projectgebied

Het projectgebied ligt nabij het stroomdal van de Drentsche Aa. In Figuur 2-2 is de bodemkaart van het project gebied weergegeven. Het gebied bestaat uit drie delen:

- Noordzijde met kleiige gronden (bodemtype Mv41C).
- Delen nabij het stroomdal met venige gronden (bodemtype hVz, hVc en kV).
- Hoge delen met zandige gronden (bodemtype cHn23).



Figuur 2-2: Bodemkaart van het projectgebied.

3 Eisen, normen richtlijnen en leidraden

Dit deel is geheel gebaseerd op het uitgangspunten document van WSHA.

In dit hoofdstuk zijn de normen, richtlijnen en leidraden opgenomen waar het ontwerp aan dient te voldoen. Het ontwerp van de kadeverbetering dient te voldoen aan de normen, richtlijnen en leidraden die gelden voor regionale waterkeringen:

[LTV Regionaal]	Leidraad Toets op Veiligheid - Regionale Waterkeringen, 2015, STOWA.
[ORK 2009-06]	Handreiking Ontwerpen & Verbeteren Boezemkaden, 2009, STOWA.
[CUR 166]	CUR 166 Damwandconstructies, 2012, CUR Bouw en Infra.
[TAW 2004]	Technisch Rapport Waterspanningen bij dijken, 2004, TAW.
[Eurocode 7]	Geotechnisch ontwerp van constructies - Deel 1: algemene regels, 2016, Eurocode 7.
[Eurocode]	NEN EN 1990 Grondslagen van het constructief ontwerp, 2011 1990, Eurocode.
[RWS, 2014]	Werkwijzer Piping bij Dijken versie 1.2, 2014, Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving
[CROW, 2013]	CROW-publicatie 329: Handboek wegontwerp 2013 Erftoegangswegen

Kabels en leidingen:

NEN 3651:2020 (NL) waterstaatswerken	Aanvullende eisen voor buisleidingen in of nabij belangrijke
NEN3650: 2020 (NL)	Eisen voor buisleidingsystemen NEN 3650-1 Deel 1: Algemene eisen
NEN 3650-1	Deel 2: Aanvullende eisen voor leidingen van staal
NEN 3650-1	Deel 3: Aanvullende eisen voor leidingen van kunststof
NEN 3650-1	Deel 4: Aanvullende eisen voor leidingen van beton
NEN 3650-1	Deel 5: Aanvullende eisen voor leidingen van gietijzer

4 Algemene ontwerpuitgangspunten

4.1 Veiligheidseisen

Er gelden de volgende veiligheidseisen:

- Het bergingsgebied van Lappenvoort-Oosterland dient te voldoen aan de veiligheidsnorm van 1:100. Dit komt overeen met een IPO-klasse III voor de kering.

4.2 Levensduur

De volgende levensduren worden aangehouden in het ontwerp:

- Hoogte van de kering, i.v.m. zettingen: 30 jaar.
- Constructieve delen i.v.m. veroudering van materialen: 30 jaar.

Er wordt gestreefd naar een kostenefficiënt ontwerp. Wanneer een kostenefficiënt ontwerp met een levensduur van 30 jaar niet mogelijk blijkt vanwege extreme zetting in de veenondergrond is er de mogelijkheid periodiek onderhoud/ophoging als een ontwerpmaatregel mee te nemen om te voldoen aan dit uitgangspunt. Dit laatste heeft echter niet de voorkeur.

In de voorgaande fase zijn hydraulische belastingen (waterstanden/wind/golven) bepaald, deze kunnen door klimaatverandering veranderen in de toekomst. Uitgangspunt is dat de huidige uitgangspunten afdoende conservatisme hebben om de bovengenoemde periode te omvatten.

4.3 Geometrische uitgangspunten

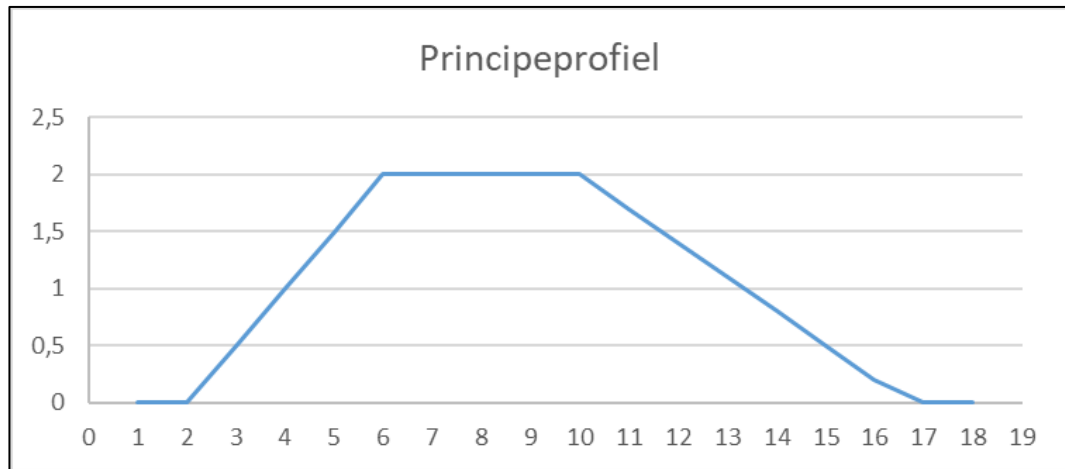
4.3.1 Principe profiel

Het waterschap Hunze en Aa's hanteert in de basis het principeprofiel 'Masterplan Kaden'. Dit principeprofiel is sinds het 'Masterplan Kaden' het standaard principeprofiel. Het principeprofiel is weergegeven in Figuur 4-1 en heeft de volgende kenmerken:

- Talud aan de waterzijde 1:2.
- Kruinbreedte: 4,00 meter.
- Talud aan de landzijde 1:3.

Het principeprofiel is gebaseerd op eenzijdige waterkering. In geval van het bergingsgebied Lappenvoort-Oosterland is dit profiel waar passend verder geoptimaliseerd om ruimtebeslag verder te optimaliseren.

Waar nodig kan afgeweken worden van het maatgevend profiel indien dit beter past in de omgeving.



Figuur 4-1: Principe profiel conform masterplan kaden.

Binnen het ontwerpproces is het principe profiel aangescherpt. Teneinde het ruimtebeslag en grondverzet te optimaliseren is gekeken of een steiler talud inpasbaar is.

4.4 Maaiveldhoogte

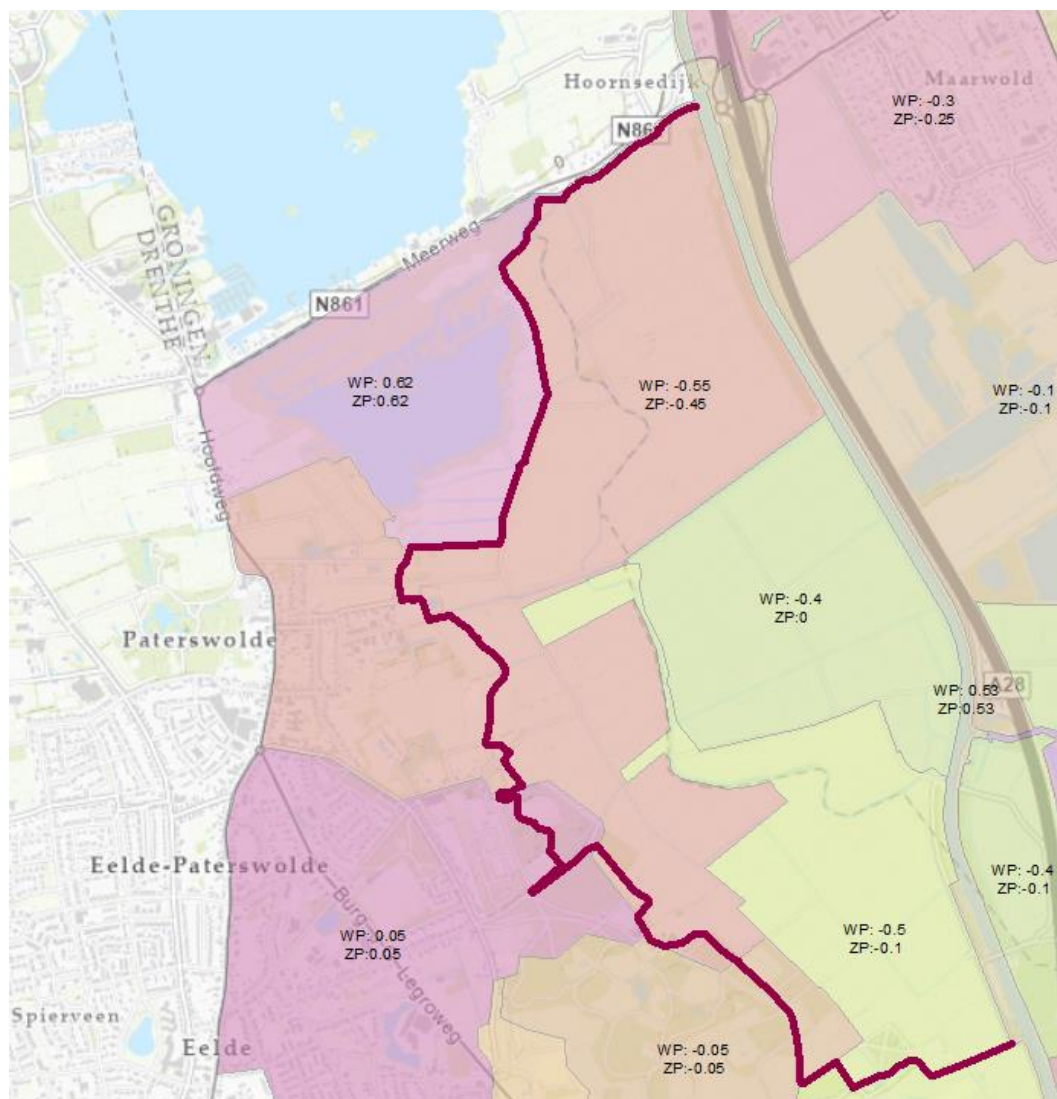
Binnen het terrein worden landmeetkundige metingen uitgevoerd. De uitkomsten hiervan zijn aangehouden als maaiveldhoogte in de SO en VO tekeningen.

4.5 Ondergrond

- De bodemopbouw is in beeld gebracht middels (aanvullend) grondonderzoek. Dit grondonderzoek is opgenomen binnen (Wiertsema & Partners, 2022; Wiertsema & Partners, 2020).

4.6 Polderpeilen

Voor de waterpeilen van de peilvakken binnen en buiten de kering wordt verwezen naar het Open Data Portaal van het Waterschap Hunze en Aa's. Deze zijn weergegeven in Figuur 4-2.



Figuur 4-2: Polderpeilen conform Open Data Portaal van het Waterschap Hunze en Aa's.

Vooralsnog zijn de binnendijkse peilen overgenomen uit (Arcadis, 2020). Deze geeft waarden per dijkvak. De dijkvak indeling van de voorgaande fase is herhaald in bijlage 1: kaartbijlage. De binnendijkse peilen zijn herhaald in Tabel 4-1.

Tabel 4-1: Binnendijkse peilen

Dijkvak	Polderpeil tijdens maatgevende condities [m+NAP]	Laagste polderpeil [m+NAP]	opmerking
1	0,90	0,53	
2	0,90	0,53	
3	n.v.t.	n.v.t.	
4	n.v.t.	n.v.t.	

5	n.v.t.	n.v.t.	
6	0,85	-0,55	
7	0,75	0,75	
8	1,00	-0,55	
9	0,90	0,62	
10	0,90	0,62	
11	0,90	0,62	
12	1,2	0,53	
13	1,5	0,53	

4.7 Bodemdaling

De relevante bodemdaling betreft de verwachte daling tussen de oplevering en einde van de levensduur. Dit is de periode 2025 tot 2055. Bodemdaling ontstaat door de volgende oorzaken:

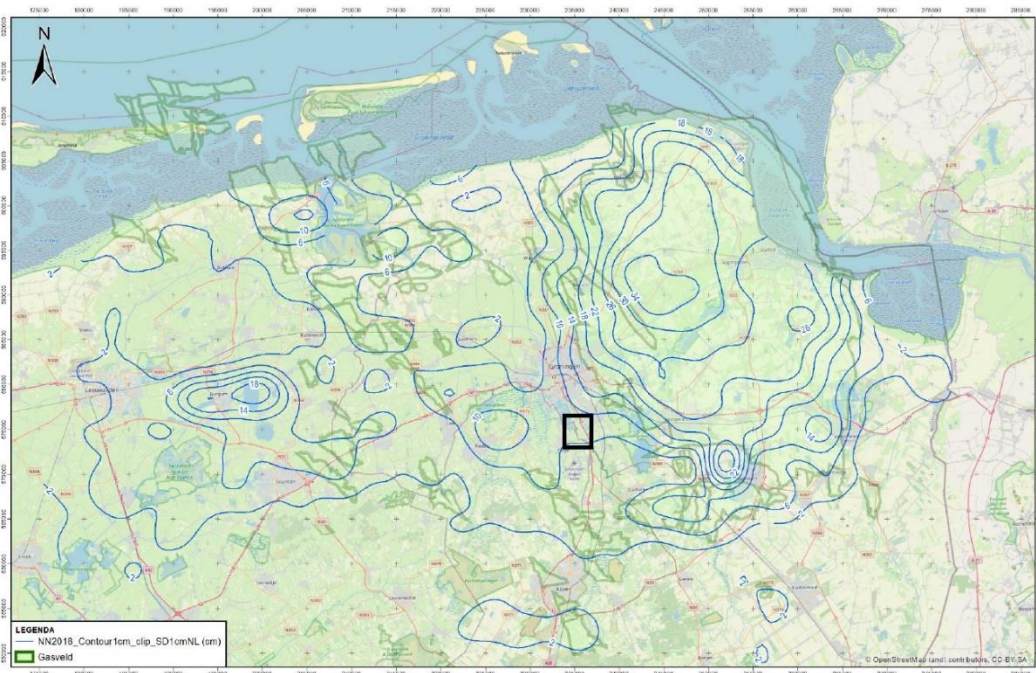
- 1) Gaswinning.
- 2) Inklinking en zettingen van het dijklichaam.
- 3) Kanteling van het pleistoceen.

Naast bovenstaande kan bodemdaling ontstaan door veenoxidatie. Een noemenswaardige bodemdaling is opgetreden tussen AHN2 (2009) en AHN3 (2019). Hiertussen is de droge zomer van 2018 aanwezig. Het is aannemelijk dat ten tijde van de droge zomer er bodemdaling is opgetreden door veenoxidatie. In het ontwerp is dit niet meegenomen. Dit omdat de bodem reeds is geoxideerd en daarom niet nogmaals eenzelfde hoeveelheid zal oxideren. De bodem is daarmee minder kwetsbaar voor veenoxidatie.

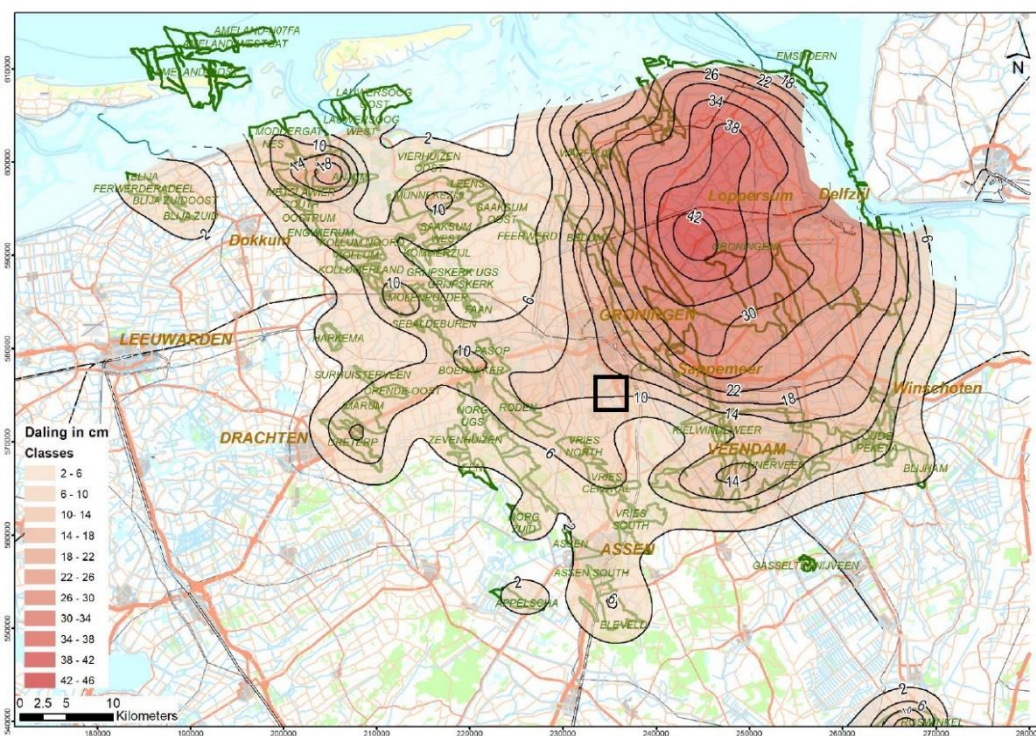
Bodemdaling door gaswinning

Bodemdaling door gaswinning is bepaald op basis van de bodemdalingscontouren van het statusrapport 2020. De verwachte contouren voor het jaar 2018 en 2050 zijn weergegeven in Figuur 4-3 en Figuur 4-4. Voor de omgeving Eelde-Paterswolde gelden de volgende waarden:

- Zichtjaar 2018: 0,08 m bodemdaling ten opzichte van de referentiemeting.
- Zichtjaar 2050: 0,10 m bodemdaling ten opzichte van de referentiemeting.
- Bodemdaling periode 2018 tot 2050: 0,02 m.
- Bodemdaling periode 2025 tot 2055 0,02 m.



Figuur 4-3: Bodemdalingscontouren predictie 2018, bron: statusrapport 2020.



Figuur 4-4: Bodemdalingscontouren predictie 2050, bron: statusrapport 2020.

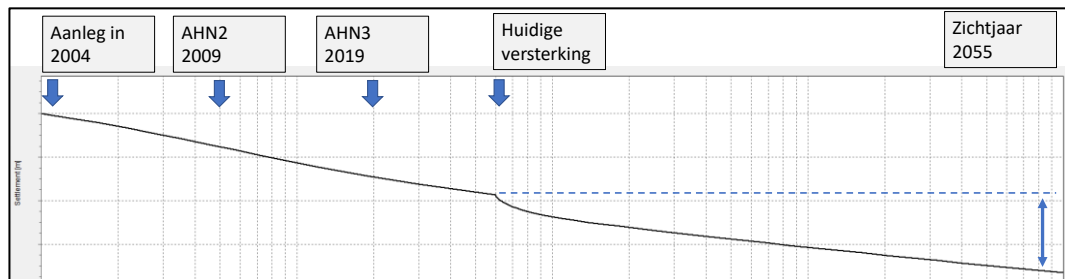
Bodemdaling door Inklinking en zettingen van het dijklichaam

Inklinking van holocene lagen en veenoxidatie wordt bepaald aan de hand van de recente ontwikkelingen. Rondom de kade van Lappenvoort-Oosterland. Deze kade is aangelegd, ingemeten in het AHN2 en AHN3 en heden. Daaruit komt naar voren dat de hoogte na aanleg is gedaald. Een verschilanalyse tussen AHN2 en AHN3 geeft 0,2 á 0,3 m zetting in een periode van 10 jaar. Deze daling gaat door, ook in de nabije toekomst.

In de analyse gaan wij uit van de volgende zaken:

- Voorgaande kadeversterking: 2004.
- Inmeetdatum AHN2, Provincie Groningen is ingevlogen in 2009¹.
- Inmeetdatum AHN3, Provincie Groningen is ingevlogen in 2019.

Aan de hand van de zettingen uit het verleden wordt een kalibratieslag uitgevoerd op de zettingsparameters. Dit is weergegeven in Figuur 4-5. Daarnaast zorgt de ophoging uit het verleden dat er een doorgaande zetting plaatsvindt, zogeheten kruip. Deze vorm van kruip is het best mee te nemen in isotache zettingsmodellen, daarom wordt gewerkt met het zettingsmodel abc-isotache dat is opgenomen in het software pakket D-settlement.



Figuur 4-5: Voorgenomen aanpak rondom de zettingsberekeningen waarbij zettingen uit het verleden worden meegenomen.

De methodiek heeft de volgende uitgangspunten:

- Software: D-settlement versie 21.2.
- Zettingsmodel: abc-isotache.
- Bodemopbouw: conform grondonderzoek.
- Zettingsparameters: conform laboratoriumonderzoek.
- Kruip van de zettingen (c-parameter in abc-isotache) wordt gekalibreerd op de werkelijke zettingen tussen AHN2 en AHN3. De zettingen worden bepaald door het verschil tussen deze twee te nemen en te corrigeren voor de daling van de gaswinning. De bodemdaling door gaswinning in 2013 (statusrapport 2015) en 2018 (statusrapport 2020) is ca. 0,01 m in 5 jaar. Er wordt dus gecorrigeerd met 0,02 m voor de periode tussen AHN2 en AHN3.
- Zettingen na oplevering: Uitgangspunt is dat tussen aanleg en opleveringen 100 dagen zit. Dit leidt tot een vereiste overhoogte om zettingen te compenseren bij oplevering.

¹ Bron:

<https://www.ahn.nl/kwaliteitsbeschrijving#:~:text=Het%20AHN1%20is%20gemeten%20tussen,al tijd%20dezelfde%20inwinvolgorde%20is%20gebruikt.>

Kanteling van het pleistoceen

De kanteling van het pleistoceen zorgt er voor dat Groningen geleidelijk omhoog komt en dat Limburg daalt. Deze oorzaak is verwaarloosbaar ten opzichte van de andere oorzaken.

4.8 Faalmechanismen waarop wordt ontworpen

Het ontwerp gaat in op de volgende faalmechanismen:

- Hoogte (HT).
- Macrostabiliteit binnenwaarts (STBI).
- Macrostabiliteit buitenwaarts (STBU).
- Stabiliteit piping en heave (STPH).

In eerdere versies van deze TUN was ook het faalmechanisme stabiliteit bekleding opgenomen. Vooral het dijkvak aan de zuidzijde vraagt bij forse golven en een gebrekkige grasmat aandacht op dit vlak. Bij dit dijkvak is een oplossing gekozen waarbij waarde wordt gehecht aan het voorland. Deze zorgt ervoor dat er geen of weinig golfbelasting komt op de kering. Daardoor is golfbelasting en daarmee het faalmechanisme stabiliteit bekleding niet meer kritisch.

5 Hydraulische uitgangspunten

5.1 Definities

De normhoogte bestaat uit het MHW + waakhoogte. De waakhoogte is een overhoogte die benodigd is om de golfoverslag over de dijk voldoende te beperken, zodat de (gras)bekleding op kruin en binnentalud deze belasting kan weerstaan.

De hoogte van de kering is de hoogte van het grondlichaam. Indien een asfaltconstructie aanwezig is, bijvoorbeeld een fietspad, dan telt de hoogte van het asfalt ook mee in de hoogte.

5.2 Normhoogte

De normhoogte is gegeven (Waterschap Hunze en Aa's, 2021). Deze geeft waarden per dijkvak. Voor dijkvak 1 en 2 is deze in het genoemde document nog niet vastgesteld.

Binnen de scope van dit project is de normhoogte van dijkvak 1 en 2 vastgesteld. Argumentatie is dat het gekozen ontwerp bij dijkvak 1 en 2 voor de dijk een noemenswaardig grondmassief omvat. Dit grondmassief reduceert de golven. In overleg is besloten dan een normhoogte van NAP +2,00 m passend is voor deze locaties.

De dijkvakindeling van de voorgaande fase is herhaald in bijlage 1: kaartbijlage. Deze omvat de meeste dijkvakken, maar laat het meest zuidelijke deel nog open binnen het ontwerp. De normhoogtes zijn gegeven in Tabel 5-1.

Tabel 5-1: Normhoogten per dijkvak

Dijkvak	Lengte vak [m]	MHW [m+NAP]	Normhoogte [m+NAP]	Golfhoogte [m]
1	200	+1,50	+2,00 ^[3]	0,45 ^[2]
2	300	+1,50	+2,00 ^[3]	0,45 ^[2]
3	2500	+1,50	+1,80	
4	300	+1,50	+1,80	
5	300	+1,50 ^[1]	+1,80	
6	300	+1,50 ^[1]	+1,80	
7	650	+1,50 ^[1]	+2,00	
8	150	+1,50 ^[1]	+2,00	
9	1000	+1,50 ^[1]	+2,00	
10	400	+1,50 ^[1]	+2,00	
11	500	+1,50 ^[1]	+2,00	
12	400	+1,50 ^[1]	+2,00	
13	100	+1,50 ^[1]	+2,00	

^[1] De normhoogte van deze dijkvakken is bepaald niet bij MHW, maar bij een waterstand van NAP +1,25 m.

[2] Conform uitvoerlocatie 1, gerapporteerd in (Arcadis, 2021).

[3] De normhoogte is vastgesteld op basis van de waterstand in combinatie van een waakhoogte van 0,5 m. Er is sprake van voorland met een hoogte die nagenoeg gelijk is aan de waterstand. Daarmee functioneert deze als golfbreker waarbij de golven met minimaal de helft worden gereduceerd. De gekozen waakhoogte is passend voor deze situatie.

5.2.1 Waakhoogte

De waakhoogte dient in deze fase bepaald te worden voor dijkvak 1 en 2. De waakhoogte wordt bepaald analoog aan de uitgangspunten geformuleerd in (Arcadis, 2021). Deze gaat uit van het volgende:

- Het betreft een glad talud (gras).
- Er worden geen vegetatie- en voorland- of bermeffecten meegerekend.
- Golfgroei conform 1-dimensionale golfgroeiformuleringen van Bretschneider.
- Het overslagcriterium wordt afhankelijk gesteld van het type grasmat.
Bij kleiige grond met een redelijk goede grasmat: 1,0 l/m/s (Arcadis, 2021).
- De aan te houden windsnelheden zijn beschreven in (Arcadis, 2021). Deze zijn herhaald in Tabel 5-2.

Tabel 5-2: Windsnelheden per windrichting, weerstation Eelde (1x per 100 jaar windsnelheden)

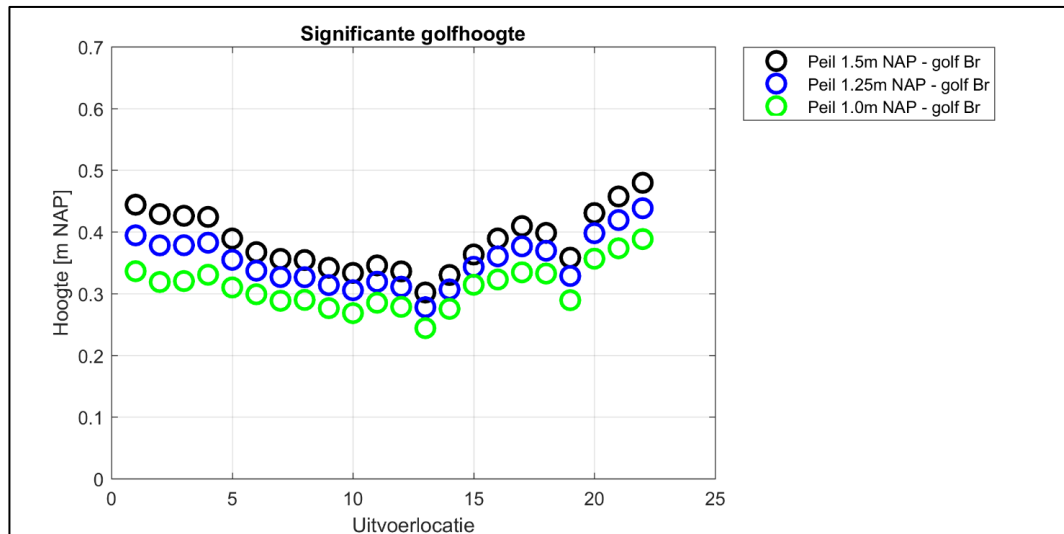
Windsnelheden	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330
	[°N]	[°N]	[°N]	[°N]	[°N]	[°N]	[°N]	[°N]	[°N]	[°N]	[°N]	[°N]
[m/s]	15,8	15,5	14,8	15,0	13,2	14,5	18,8	22,0	24,2	25,1	20,5	19,4

Het faalmechanisme hoogte/overslag is een aanvulling opgenomen. Vooral het dijkvak aan de zuidzijde vraagt bij forse golven en een gebrekkige grasmat aandacht op dit vlak.

In eerdere versies is gesproken over afwijkende randvoorwaarden ter plaatse van gebieden met een fragmentarische grasmat. Dit is vooral van toepassing op locaties waar de grasmat niet goed kan ontwikkelen. Zoals dijkvak 1 en 2 waarbij bomen aanwezig zijn. Op deze locatie is gekozen voor een alternatieve aanpak waarbij waarde is gegeven aan het aanwezige voorland die de golfbelasting sterk reduceert. Tevens is voor dijkvak 1 gekozen voor een nieuwe ligging van de kering, ten zuiden van de bestaande kering, waarbij bomen geen impact hebben op de kwaliteit van de grasmat. Derhalve is gesteld dat het criterium voor golfoverslag bij fragmentarische zode niet meer van toepassing is.

5.2.2 Golfbelasting

Golfbelasting is bepaald op basis van de formule van Brettscheider en de windsnelheden conform Tabel 5-2. De bepaalde golfhoogten zijn weergegeven in Figuur 5-1. De locatie van de uitvoerlocaties zijn weergegeven in bijlage 1.

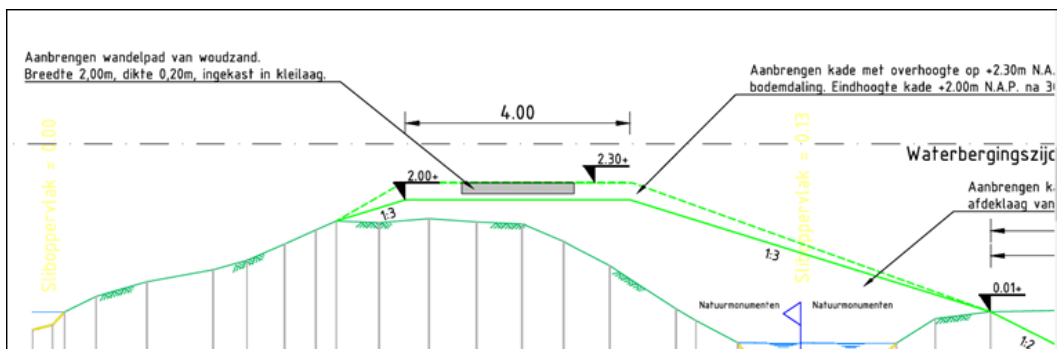


Figuur 5-1: Berekende significante golfhoogte bij de uitvoerlocaties voor drie verschillende waterpeilen. Bron: (Arcadis, 2021).

5.2.3 Erosiebestendigheid alternatieve kruinbekleding

De eerder genoemde golfoverslag debieten zijn van toepassing voor een redelijk goede grasmat. Niet overal is een redelijk goede grasmat aanwezig of gewenst. Ter plaatse van de kruin van de kade ligt op sommige locaties een wandelpad. Hier is geen sprake van een goede grasmat. Het huidige wandelpad heeft als ondergrond klei. Door de slechte doorlatendheid van de klei is in regenachtige periodes het wandelpad niet goed begaanbaar.

In het kader van de kadeversterking en recreatieve begaanbaarheid is derhalve gekozen voor een alternatieve invulling van de kruin op deze locatie. Deze is weergegeven in Figuur 5-2. Daarbij bestaat het wandelpad uit 0,2 m woudzand met daaronder een kleilaag.



Figuur 5-2: Concept dwarsprofiel van de kade met een wandelpad van woudzand.

De kering bestaat uit drie delen die separaat geanalyseerd worden:

- Binnen- en buitentalud.
- Onderliggende kleilaag onder woudzand.

- Bovenliggend woudzand.

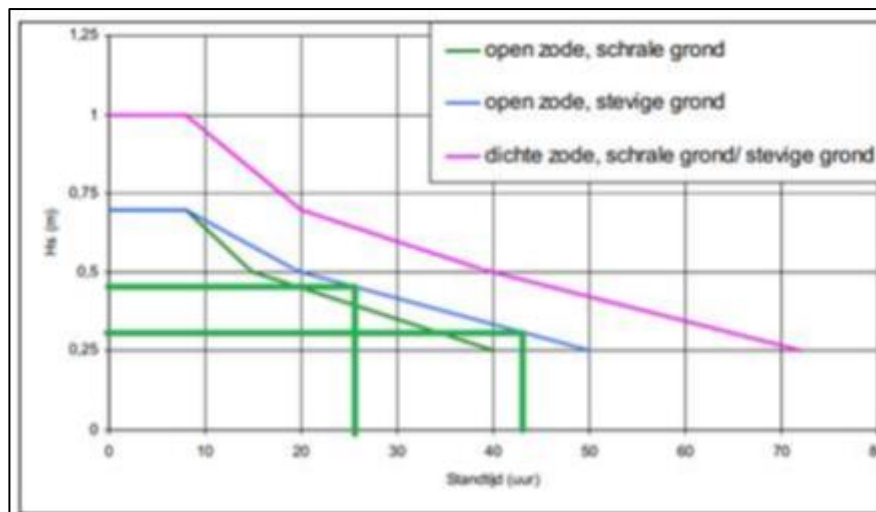
Binnen- en buitentalud

De voorgenomen ontwerpvariant omvat een binnentalud en een buitentalud. De aanpassing aan de kruin heeft geen invloed op deze twee delen. Deze delen zijn ontworpen en voldoen aan de vigerende kaders. Derhalve voldoen deze delen van het ontwerp.

Onderliggende kleilaag

De onderliggende kleilaag wordt gemaakt van nader te bepalen klei, dit is erosieklasse 1 of 2 klei (stevige grond vs. schrale grond). WT12011 geeft handvaten voor de standtijd van een kleilaag afhankelijk van het type klei. Formeel is deze methodiek bedoeld voor een talud, niet een horizontaal gelegen kruin. Formeel is deze methodiek bedoeld voor een kleilaag met een vorm van graszode, daarbij is de kleilaagdikte ca. 0,4 m. Hier is het uitgangspunt dat bovenstaande twee punten elkaar opheffen, mits de waarden voor een openzode worden gebruikt.

In Figuur 5-3 is te zien dat bij kleine golfhoogtes (H_s van 0,25 m tot 0,40 m) de standtijd 20 á 40 uur is. Op basis hiervan is geconcludeerd dat de onderliggende kleilaag afdoende sterkte heeft gegeven de lokale belastingen.



Figuur 5-3: Standtijd van de toplaag voor verschillende golfhoogten, zode kwaliteit en grondsoort.

Bovenliggend woudzand

Het beoordelen van het bovenliggende woudzand is hier niet gedaan. Deze toetsing is tamelijk gedetailleerd. Er kan een beschouwing gemaakt worden deze vraagt de volgende zaken:

- 1) Vaststellen van de acceptabele cumulatieve overbelasting.
Dit is de belasting die nog net acceptabel is. Hiervoor zijn reeds handvaten die bijvoorbeeld geldig zijn voor dijken met fragmentarische graszodes.
- 2) Vaststellen van de kritische stroomsnelheid.
Dit is de stroomsnelheid wanneer erosie ontstaat.
Voor een grasbekleding op klei ligt deze op ca. 5,0 m/s.
Vanuit erosie van watergangen ligt deze voor zand vermoedelijk op 0,5 m/s.

- 3) Vaststellen van de aanwezige cumulatieve overbelasting.
Deze is afhankelijk van de stormduur, golfhoogte, golfvorm, e.d. Het bepalen hiervan vraagt nadere inspanning.

Conclusie

Op basis van bovenstaande is de conclusie dat de taluds en de kleilaag onder het zandpad voldoende sterkte hebben. De algehele conclusie is daarmee dat het ontwerpvariant met woudzand en daaronder klei voldoet.

6 Geotechnische uitgangspunten

6.1 STBI

6.1.1 Stabiliteitsfactor waar aan wordt getoetst

Bij toetsing op macrostabiliteit wordt expliciet getoetst aan een vereiste stabiliteitsfactor. De stabiliteitseis bij gebruik van rekenwaarden voor de sterkte luidt:

$$SF / \gamma_s \gamma_n \gamma_d \geq 1,0$$

Waarin:

SF = Stabiliteitsfactor berekend bij rekenwaarden van de sterkte [-]

γ_n = Schadefactor [-]

γ_d = Modelfactor [-].

γ_s = Schematiseringsfactor [-].

Tabel 6-1: Partiele veiligheidsfactoren

Situatie	Schadefactor (IPO-III)	Model-factor	Schematiseringsfactor (minimum na reductie)	Stabiliteitsfactor SFeis
Spencer-Van der Meij (geen opbarsten, vigerend)	0,90	0,95	1,2 (1,0)	1,03 (0,86)
Spencer-Van der Meij (bij opbarsten, vigerend)	0,90	1,05	1,2 (1,0)	1,13 (0,95)

Schadefactor

In de opgave wordt gevraagd om een toetsing op basis van het T100 peil. Dit betekent dat normklasse IPO III met een overschrijdingskans van 1/100 jaar van toepassing is voor deze toetsing. Bij een IPO klasse III hoort een schadefactor 0,9. Hieraan wordt getoetst.

Modelfactor

Leidraad [STOWA, 2015] geeft de voorkeur aan het model Spencer-Van der Meij als het te hanteren glijvlakmodel. Voor de berekeningen met het model Spencer-Van der Meij dient een modelfactor van 0,95 in rekening gebracht te worden voor situaties waarbij opbarsten is uitgesloten. Indien er sprake is van opbarsten wordt gerekend met een grotere modelfactor (1,05). Welke modelfactor gebruikt wordt is afhankelijk van de slappe veenlagen. Dit wordt gebaseerd op het nog te verrichten geotechniek grondonderzoek.

Materiaalfactor

Voor de materiaalfactoren wordt de Leidraad Toetsen op Veiligheid regionale Waterkeringen (STOWA 2015-15)" gebruikt. Er bestaan twee sets materiaalfactoren. Er worden dezelfde factoren aangehouden als die zijn opgenomen in (Arcadis, 2020). Deze zijn herhaald in Tabel 6-2.

Tabel 6-2: Materiaalfactoren voor sterkteparameters grond

Grondlaag	$\gamma_{m,\phi'}$ [-]	$\gamma_{m,c'}$ [-]
Humeuze zeeklei	1,2	1,25
Veen	1,2	1,5
Dijksmateriaal	1,2	1,25
Zand (ondergrond)	1,2	-

Schematiseringsfactor

De schematiseringsfactor verdisconteert onzekerheden in de gehanteerde schematisering van de uitgangspunten bij de stabiliteitsbeoordeling ten aanzien van de geometrie, bodemopbouw en waterspanningen. De waarde varieert tussen 1,2 en 1,0. Waar nodig is deze schematiseringsfactor aanvullend geoptimaliseerd.

6.1.2 Sterkteparameters

De te hanteren sterkteparameters zijn gedraineerd. Deze zijn opgenomen in paragraaf 2.4.1 van (Arcadis, 2020) en afgestemd met Waterschap Hunze en Aa's. De achtergrond van deze parameters zijn diverse laboratoriumproeven, deze zijn niet uitgevoerd in het projectgebied zelf, maar in nabij gelegen projecten. Voor het project "Ophogen kades-Noord-Willemskanaal" is grondonderzoek met DSS-proeven op veen uitgevoerd (Wiertsema & Partners, 2022). De sterkteparameters van deze DSS-proeven zijn overgenomen.

De sterkteparameters zijn herhaald in Tabel 6-3 en Tabel 6-4.

Tabel 6-3: Sterkteparameters van de ondergrond - karakteristiek

Grondlaag	γ_{sat} [kN/m ³]	ϕ' karakteristiek [°]	C'_{kar} [kPa]
Humeuze zeeklei	15	28,7	3,75
Veen	10,3	23,4	6,8
Dijksmateriaal	15	29,8	2,5
Zand (ondergrond)	20	33,6	-

Tabel 6-4: Sterkteparameters van de ondergrond - rekenwaarden

Grondlaag	γ_{sat} [kN/m ³]	ϕ'_{rek} [°]	C'_{rek} [kPa]
Humeuze zeeklei	15	24,5	3,0
Veen	10,3	19,1	4,5
Dijksmateriaal	15	25,5	2,0
Zand (ondergrond)	20	29,0	-

6.1.3 Freatische lijn

De schematisatie van de freatische lijn is gelijk aan de schematisatie benoemd in paragraaf 2.6.1 van (Arcadis, 2020). Deze stelt het volgende:

Bij de schematisering van de freatische lijn voor de toetsing van de binnenwaartse stabiliteit is een conservatieve keuze gemaakt: de freatische lijn loopt van de waterstand buitendijks lineair naar de binnentoe met de binnendijkse waterstand.

6.2 Stijghoogte

De schematisatie van de stijghoogte is gelijk aan de schematisatie zoals toegepast in bijlage G van (Arcadis, 2020). Deze gaat uit van het volgende:

- Stijghoogte reageert 1:1 met het buitenwater.
- Bovenstaande wordt begrensd door de opbarstpotentiaal.
- Opbarsten wordt meegenomen middels een reductie van de sterkte van de grondlagen ($\phi' = 0$ en $c' = 0$ kPa).

6.3 Verkeersbelasting

Bij de berekeningen van de verkeersbelasting wordt de leidraad toetsen op veiligheid regionale keringen gehanteerd.

- Uitgangspunt is standaard een verkeersbelasting van 13 kN/m² over een breedte van 2,5 m.
- Er gelden de volgende aanpassingspercentages conform (STOWA 2015) voor een verkeersbelasting van 13 kN/m²:
In doorlatende lagen / zandlagen: 100% aanpassing.
In cohesieve lagen ter plaatse van een verharde weg toegankelijk voor auto's: 50%.
In cohesieve lagen ter plaatse van een groene dijk / wandelpad / fietspad: 0%.
- Spreidingshoek van de verkeersbelasting is 18,3° conform (Arcadis, 2020).

6.4 STBU

6.4.1 Stabiliteitsfactor waar aan wordt getoetst

Bij STBU wordt aan dezelfde factoren getoetst als bij STBI.

6.4.2 Sterkteparameters

Bij STBU worden dezelfde sterkte parameters aangehouden als bij STBI.

6.4.3 Freatische lijn

De schematisatie van de freatische lijn is gelijk aan de schematisatie benoemd in paragraaf 2.6.1 van (Arcadis, 2020). Deze stelt het volgende:

In de situatie voor buitenwaartse stabiliteit dient rekening gehouden te worden met een val van de buitenwaterstand, waarbij in de kade zelf nog een verhoogd freatisch niveau aanwezig is. (...) Na de piek waterstand in de polder loopt de polder geleidelijk aan leeg. Dit proces zal eerder enkele weken duren, want hoe leger het bergingsgebied hoe langer het leeglopen duurt. Op basis van dit gegeven is verondersteld dat het freatisch niveau in de kade grotendeels mee zakt en daardoor de te schematiseren val van het hoge water relatief klein is.

Er is op basis van expert judgement aangenomen dat als de buitenwaterstand gezakt is tot het maaiveld in de polder het niveau in de dijk gezakt is tot 1/3 van het waterstandsverschil. Als voorbeeld: bij een waterstand daling van 1,5 m tot maaiveld is in de schematisering van de buitenwaartse stabiliteit in de kade een opbolling van 0,5 m opgenomen.

6.4.4 Verkeersbelasting

Bij STBU wordt dezelfde verkeersbelasting aangehouden als bij STBI.

6.5 STPH

6.5.1 Veiligheidsfactor waar aan wordt getoetst

De vereiste veiligheidsfactoren zijn overgenomen uit (Arcadis, 2020). Deze zijn herhaald in Tabel 6-5. Tabel 6-5: Partiele veiligheidsfactoren

Tabel 6-5: Partiele veiligheidsfactoren

Situatie	Veiligheidsfactor	Schematiseringsfactor (minimum na reductie)	Stabiliteitsfactor SF _{Feis}
Deklaagdikte < 2 m	1,20	1,2 (1,0)	1,44 (1,20)
Deklaagdikte > 2 m	1,10	1,2 (1,0)	1,32 (1,1)

6.5.2 Sterkteparameters

De sterkteparameters zijn overgenomen uit (Arcadis, 2020).

- D70 140 µm (karakteristieke / rekenwaarde).
- K 5 m/dag (karakteristieke / rekenwaarde)
- D 30 m (karakteristieke / rekenwaarde)

6.6 Zettingen

Werkwijze rondom zettingen is beschreven in paragraaf 4.7.

Parameters rondom de zettingen worden als volgt bepaald:

- Op basis van project specifiek laboratoriumonderzoek (betreft de veenlagen).

- Op basis van defaultwaardes.
Parameters voor abc-isotache worden voor overige samendrukbare lagen (bv. dijksmateriaal) bepaald op basis van correlaties met het volumegewicht. Deze correlaties zijn gegeven in (dr. ir. E.J. den Haan, 2004).
Overige parameters worden overgenomen uit tabel 2.b van NEN9997-1 (NEN, 2016), of CUR162 (SBRCUR, 1993).

In februari 2022 zijn door Wiertsema & Partners een vijftal samendrukkingsproeven uitgevoerd. De resultaten zijn weergegeven in Tabel 6-6. Er zijn 7 traps samendrukkingsproeven uitgevoerd. De weergegeven b en cv-parameters zijn bepaald op basis van belastingtrap 6. Belastingtrap 7 omvat extremere belastingen en ook extremere samendrukkingsparameters. Belastingtrap 6 Deze trap omvat een belasting toename van ca. 20 kPa ten opzichte van de veldspanning. De voorgenomen kruinophoging vallen binnen deze waarde. Daarom zijn de parameters gebaseerd op trap 6.

Tabel 6-6: Resultaten samendrukkingsproeven op veen.

Boring	Monster	γ_{nat}	γ_{dr}	POP	a	b	c	cv
[-]	[-]	[kN/m ³]	[kN/m ³]	[kPa]	[-]	[-]		[m ² /s]
HB003	M001	11,8	3,8	12,9	0,027	0,085		9,33x10 ⁻⁸
HB004	M001	10,7	2,4	11,1	0,033	0,105		6,03x10 ⁻⁸
HB005	M001	10,2	1,5	14,0	0,024	0,123		2,25x10 ⁻⁷
HB008	M001	11,1	3,5	12,1	0,037	0,084		7,38 x10 ⁻⁷
HB011	M001	11,2	3,6	10,6	0,058	0,120		2,46 x10 ⁻⁷
Rekenwaarde		11,0	3,0	11	0,037	0,120	0,015*	6,03 x10 ⁻⁸

* Deze waarde is betreft de kruip op lange termijn. In het laboratorium is in de kortdurende proeven hier geen representatieve waarde voor gevonden. Op basis van literatuur zoals (dr. ir. E.J. den Haan, 2004) worden waarden van c = 0,010 tot 0,022 verwacht. Kalibratie is uitgevoerd voor de zettingen die zijn opgetreden tussen de voorgaande kadeophoging en heden. Op basis daarvan blijkt dan c = 0,015 passend is voor dit gebied.

Een overzicht van de te hanteren zettingsparameters is weergegeven in Tabel 6-7.

Tabel 6-7: Zettingsparameters

Grondlaag	γ_{sat} [kN/m ³]	POP	a	b	c	cv
Humeuze zeeklei	15	11	0,010	0,140	0,007	8,0 x 10 ⁻⁸
Veen	10,5	11	0,037	0,120	0,015*	6,0 x 10 ⁻⁸
Dijksmateriaal	15	11	0,010	0,140	0,007	8,0 x 10 ⁻⁸
Zand (ondergrond)	20	-	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.	n.v.t.

* Deze waarde is betreft de kruip op lange termijn. In het laboratorium is in de kortdurende proeven hier geen representatieve waarde voor gevonden. Op basis van literatuur zoals (dr. ir. E.J. den Haan, 2004) worden waarden van c = 0,010 tot 0,022 verwacht. Kalibratie is uitgevoerd voor de zettingen die zijn opgetreden tussen de voorgaande kadeophoging en heden. Op basis daarvan blijkt dan c = 0,015 passend is voor dit gebied.

6.7 Uitvoeringsstabiliteit

In de geotechnische analyses is ook gekeken naar de stabiliteit in de uitvoeringsfase. Daarbij is gekeken naar macrostabiliteit. Dit is afhankelijk van de uitvoeringswijze en geotechnische zaken.

Uitvoeringswijze

De uitvoeringswijze bestaat uit het uitvoeren van grondverzet. Dit is gedefinieerd als een ophoging gelijk tot aan de opleverhoogte. Hierboven op wordt een extra ophoging aangebracht als zettingscompensatie tussen uitvoering en oplevering.

Het grondverzet wordt aangebracht en verdicht met materieel. Dit materieel zit bovenop de nieuwe kade. Hierbij zijn twee soorten materieel beschouwd: 25 tons kraan en een 38 tons kraan.

Tabel 6-8: Beschouwd materieel bovenop de kade ten tijde van de uitvoeringsfase.

Materieel	Massa	Breedte	Lengte ^[1]	Druk ^[2]
Kraan, 25 ton	25 ton	3,0 m	4,5+1,0 m	15 kN/m ²
Kraan, 38 ton	38 ton	3,0 m	5,0+1,0 m	22 kN/m ²

^[1] Dit bestaat uit de lengte van het voertuig. Daarnaast is er sprake van masse spreiding in de lengterichting van het voertuig. Vooral bij korte voertuigen, zoals kranen, is dit van belang. Hiervoor is 1,0 m aangehouden.

^[2] De verkeersbelasting leidt tot een wateroverspanning. Voor doorlatende (zand)lagen is een consolidatiepercentage van 100% aangehouden. Voor cohesieve lagen is een consolidatiepercentage aangehouden van 25% aangehouden. Dit is een middenwaarde van nihil en 50% welke worden gegeven in LTVRK2015.

De uitvoering is gepland zonder inzet van het bergingsgebied. De waterstand is derhalve gelijk aan het polderpeil. De grondwaterstand is conform de aangetroffen waarde ten tijde van het veldonderzoek (NAP -0,5 m). Door de ophoging en zettingen wordt water uitgedreven, daardoor stijgt de grondwaterstand. Tevens kan tijdens de uitvoeringsfase neerslag vallen, waardoor ook de grondwaterstand stijgt. Uitgangspunt is dat door bovenstaande de grondwaterstand ter plaatse van de kering stijgt tot NAP +0,0 m.

Geotechnische zaken

Er wordt grondverzet toegepast. Daardoor ontstaan zettingen. In de beginperiode van de zettingen is sprake van wateroverspanningen. Daardoor is mogelijk sprake van stabiliteitsrisico's.

De volgende hoofdlijnen gelden:

- Vereiste stabiliteit: SF = 1,00 bij rekenwaarden.
Hierdoor is veiligheid inbegrepen in de sterkte parameters. Er bestaat de mogelijkheid om op basis van TRWG (TAW, 2001) om een lagere veiligheidseis aan te houden. Daar is geen gebruik van gemaakt. Wel zijn aanscherpingen gedaan in de analyse op andere vlakken.
- Indien niet wordt opgehoogd, is er geen sprake van wateroverspanning.
De wateroverspanning is als percentage van de ophoging bepaald en is toegepast in D-geostability.

- Robuuste bodem leidt tot minder wateroverspanningen.
De bodem reageert stijf bij ophogingen tot aan de grensspanning. Ervaringen geven dat ophogingen tot aan de grensspanning weinig wateroverspanning geven. De POP-waarde is 11 kPa. Er is aangehouden dat de eerste 11 kPa aan bovenbelasting 30% wateroverspanning geeft. Belasting daarboven geeft 80% wateroverspanning.
- Wateroverspanning neemt af met de tijd.
Door consolidatieprocessen nemen wateroverspanningen af met de tijd. De uitvoeringsfase duurt ca. 100 dagen. De ophoogsnelheid binnen een dijkvak is groter. Uitgangspunt zijn ophoogslagen van 0,4 m per keer. Deze worden verdicht. De maximale ophoogsnelheid is 1 m per week. De maximale ophoging is ter plaatse van de nieuwe buitenkruin, dit is ca. 2,5 m. De ophoging hiervan duurt langer dan 14 dagen. Derhalve zijn de wateroverspanningen bepaald na 14 dagen.

De consolidatiesnelheid is afhankelijk van de dikte van de slappe lagen. Rekenresultaten geven het volgende:

Deklaag dikte < 1 m: na 14 dagen resteert 25% van de originele waterspanning.

Deklaag dikte 1 tot 3 m: na 14 dagen resteert 75% van de originele waterspanning.

Deklaag dikte > 3 m: na 14 dagen resteert 95% van de originele waterspanning.

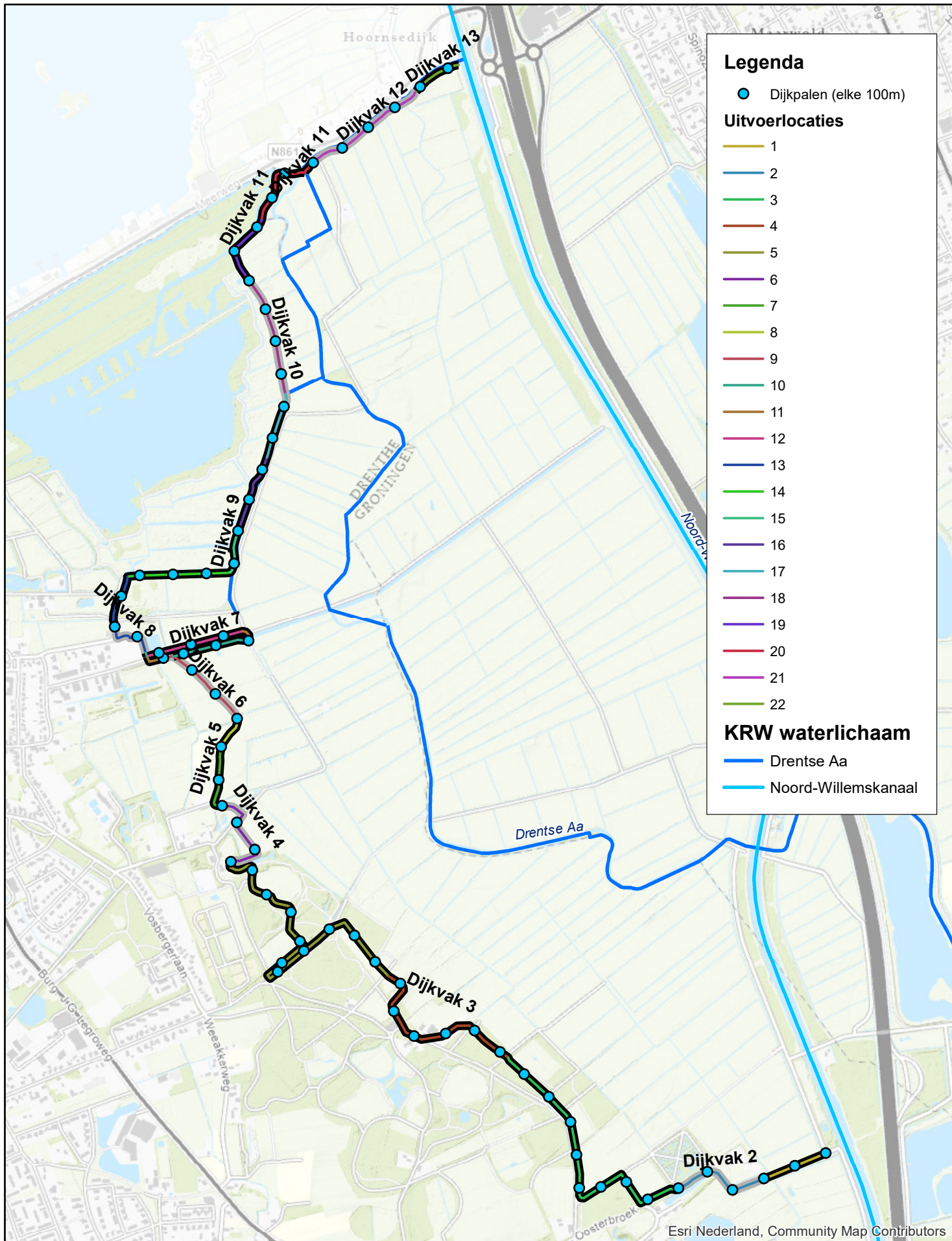
- Wateroverspanning is waterspanning
De wateroverspanning leidt tot waterspanning. Indien de waterdruk verandert, leidt dit ook tot waterspanning. Uitgaande van een constante waterspanning door een ophoging, dan leidt een toename van de waterstand, tot een afname van de wateroverspanning. Ter plaatse van de maximale ophoging is een toename van de grondwaterstand van 0,5 m meegenomen, dit verdisconteert in de wateroverspanning.

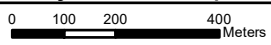
7 Bibliografie

- Arcadis. (2020). *Toetsing waterkering polder Lappenvoort - Oosterland*.
- Arcadis. (2021). *Normhoogte waterkering polder Lappenvoort - Oosterland*.
- dr. ir. E.J. den Haan, d. H. (2004). Isotachemodellen: Help, hoe kom ik aan de parameters.
Geotechniek, 62-69.
- Ministerie van Verkeer en Waterstaat. (2007). *Voorschrift toetsen op Veiligheid Primaire Waterkeringen*.
- NEN. (2016). *NEN9997-1 Geotechnisch ontwerp van constructies*.
- Rijkswaterstaat. (2012). *Handreiking Toetsen Grasbekledingen op Dijken t.b.v. het opstellen van het beheerdersoordeel (BO) in de verlengde derde toetsronde*.
- Rijkswaterstaat. (2021). *Schematiseringshandleiding macrostabiliteit, WBI2107*.
- SBRCUR. (1993). *CUR162 - Construeren met grond*.
- STOWA. (2015). *Leidraad toetsen op veiligheid regionale waterkeringen Module E: Niet waterkerende objecten*. Amersfoort.
- TAW. (2001). *Technisch Rapport Waterkerende Grondconstructies*.
- Waterschap Hunze en Aa's. (2021). *Ontwerpbasis/Uitgangspuntennotitie Waterveiligheid; kenmerk: 880/01*.
- Waterschap Hunze en Aa's. (2021). *Bijlage 4 - Beheerdersoordeel normhoogte kering Lappenvoort Oosterland*.
- Wiertsema & Partners. (2020). *Geotechnisch onderzoek, Lappenvoort - Oosterland, kadeversterking te Eelde*.
- Wiertsema & Partners. (2022). *Geotechnisch advies en toetsing ontwerp, Ophogen kades Noord-Willemskanaal ter hoogte van de Witte Molen (A28) te Haren*.
- Wiertsema & Partners. (2022). *Geotechnisch onderzoek, Kadeversterking Lappenvoort - Oosterland te Paterswolde*.

Bijlage 1 Kaartbijlage

Bijlage 1 Kaartbijlage



 WATERSCHAP Hunze en Aa's Aquapark 5 9641 PJ VEENDAM tel: (0598)-693800 fax: (0598)-693893 waterschap@hunzeenaas.nl		Kadeversterking Lappenvoort-Oosterland Dijkvakken, -palen & uitvoerlocaties		
		 Schaal: 1:14.626		Datum: XX-XX-XXXX Formaat: A4
		Topografische ondergrond: ©Topografische Dienst Kadaster		Get.:
		Padverwijzing padverwijzing padverwijzing padverwijzing		

De informatie die in dit rapport is opgenomen is uitsluitend bestemd voor de geadresseerde(n) en kan persoonlijke of vertrouwelijke informatie bevatten. Gebruik van deze informatie, door anderen dan de geadresseerde(n) en gebruik door hen die niet gerechtigd zijn van deze informatie kennis te nemen, is niet toegestaan. De informatie is uitsluitend bestemd om te worden gebruikt door de geadresseerde, voor het doel waarvoor dit rapport is vervaardigd. Indien u niet de geadresseerde bent of niet gerechtigd bent tot kennisneming, is openbaarmaking, vermenigvuldiging, verspreiding en/of verstrekking van deze informatie aan derden is niet toegestaan, tenzij na schriftelijke toestemming door Antea Group en wordt u verzocht de gegevens te verwijderen en direct melding te maken bij security@anteagroup.nl. Derden, zij die niet geadresseerd zijn, kunnen geen rechten aan dit rapport ontleen, tenzij na schriftelijke toestemming door Antea Group.

Over Antea Group

Antea Group is het thuis van 1500 trotse ingenieurs en adviseurs. Samen bouwen wij elke dag aan een veilige, gezonde en toekomstbestendige leefomgeving. Je vindt bij ons de allerbeste vakspecialisten van Nederland, maar ook innovatieve oplossingen op het gebied van data, sensing en IT. Hiermee dragen wij bij aan de ontwikkeling van infra, woonwijken of waterwerken. Maar ook aan vraagstukken rondom klimaatadaptatie, energietransitie en de vervangingsopgave. Van onderzoek tot ontwerp, van realisatie tot beheer: voor elke opgave brengen wij de juiste kennis aan tafel. Wij denken kritisch mee en altijd vanuit de mindset om samen voor het beste resultaat te gaan. Op deze manier anticiperen wij op de vragen van vandaag en de oplossingen voor morgen. Al 70 jaar.

Contactgegevens

Tolhuisweg 57
8443 DV HEERENVEEN
Postbus 24
8440 AA HEERENVEEN
T. 06 12 96 22 38
E. rienk.delange@anteagroup.nl

www.anteagroup.nl

Copyright © 2021

Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd en/of openbaar worden gemaakt door middel van druk, fotokopie, elektronisch of op welke wijze dan ook, zonder schriftelijke toestemming van de auteurs.