

Rapportage Nadere Veiligheidsanalyse

Dijktraject 13-4



Auteur
Ellen Daamen
Roy Mom

Registratienummer
23.0942081

Datum
11 augustus 2023

Versie
V1.0

Status
Definitief concept

Afdeling
Hoogwaterbeschermingsprogramma

Inhoudsopgave

Samenvatting	4
1 Inleiding	5
1.1 Aanleiding	5
1.2 Scope nadere veiligheidsanalyse	6
1.3 Leeswijzer	7
2 Beschrijving dijktraject en deeltrajecten	8
2.1 Dijktraject 13-4	8
2.2 Deeltraject Helderse Zeewering	8
2.3 Deeltraject Havendijk	9
3 Aanpak nadere veiligheidsanalyse	10
3.1 Beschouwde faalmechanismen	10
3.2 Algemene uitgangspunten	10
3.3 Aanpak nadere veiligheidsanalyse	11
3.3.1 Bekledingen	11
3.3.2 Geotechniek	12
3.4 Gebruikte software	13
3.5 Toelichting op resultaten nadere veiligheidsanalyse	13
4 Resultaten Helderse Zeewering	14
4.1 Aanscherping oordeel LBO-1	14
4.2 Bekledingen	14
4.2.1 Stabiliteit steenzetting (ZST)	14
4.2.2 Bezijken asfaltbekleding ten gevolge van golfklappen (AGK)	14
4.2.3 Bezijken asfaltbekleding ten gevolge van wateroverdrukken (AWO)	15
4.2.4 Grasbekleding afschuiven buitentalud (GABU)	15
4.2.5 Grasbekleding erosie buitentalud (GEBU)	15
4.2.6 Grasbekleding erosie kruin en binnentalud (GEKB)	15
4.2.7 Grasbekleding afschuiven binnentalud (GABI)	15
4.3 Geotechniek	16
4.3.1 Macrostabieliteit Binnenwaarts (STBI)	16
4.3.2 Macrostabieliteit Buitenwaarts (STBU)	16

4.3.3	Piping en heave (STPH)	16
4.3.4	Microstabiliteit (STMI)	16
5	Resultaten Havendijk	17
5.1	Aanscherping oordeel LBO-1	17
5.2	Bekledingen	17
5.2.1	Stabiliteit steenzetting (ZST)	17
5.2.2	Bezwijken asfaltbekleding door golfklappen (AGK)	17
5.2.3	Bezwijken asfaltbekleding door ontstaan S-profiel (ASP)	18
5.2.4	Bezwijken asfaltbekleding ten gevolge van wateroverdrukken (AWO)	18
5.2.5	Grasbekleding afschuiven buitentalud (GABU)	18
5.2.6	Grasbekleding Erosie buitentalud (GEBU)	18
5.2.7	Grasbekleding Erosie Kruin en Binnentalud (GEKB)	18
5.2.8	Grasbekleding Afschuiven binnentalud (GABI)	19
5.2.9	Stabiliteit vloeistofdichte vloer	19
5.3	Geotechniek	19
5.3.1	Macrostabiliteit Binnenwaarts (STBI)	19
5.3.2	Macrostabiliteit Buitenwaarts (STBU)	19
5.3.3	Piping en heave (STPH)	19
5.3.4	Microstabiliteit (STMI)	20
6	Conclusie	21
6.1	Helderse Zeewering	21
6.2	Havendijk	22
6.2.1	Visafslag	22
6.2.2	Paleiskade	23
6.2.3	Het Nieuwe Diep	23
6.2.4	Het Nieuwe werk	23
7	BIJLAGEN	24



Samenvatting

Eind 2022 is de eerste Landelijke Beoordelingsronde Overstromingskans van primaire waterkeringen (LBO-1) afgerond. Voor dijktraject 13-4 geldt dat deze niet aan de norm voldoet en versterking noodzakelijk is. Binnen het project Dijkversterking Den Helder worden twee deeltrajecten beschouwd: de Havendijk (D86) en de Helderse Zeewering (D85). Voor beide trajecten is door Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier (HHNK) een nadere veiligheidsanalyse uitgevoerd. Daarbij is voor alle mechanismen nagegaan of nieuwste inzichten aanleiding geven tot aanscherping of uitbreiding van de scope en of er voor secties die niet aan de norm voldoen een waterveiligheidsoordeel per mechanisme tot 2073 (zichtjaar voor de analyse) kan worden gegeven. Voor de asfaltbekleding is ook beschouwd of deze in geval van een verhoogde grondwaterstand in combinatie met golfaanval kan vervormen. Het doel van de nadere veiligheidsanalyse is om een stabiele veiligheidsopgave voor het project af te kunnen leiden.

Uit de analyse volgt dat voor de Helderse Zeewering voor bijna alle beschouwde faalmechanismen tot 2073 wordt voldaan aan de ondergrens en het waterveiligheidsoordeel dus voldoende is. Uitzonderingen zijn de faalmechanismen AGK, ASP en STBU. Voor het faalmechanisme STBU wordt tot 2036 aan de ondergrens voldaan en is het waterveiligheidsoordeel op korte termijn voldoende. Voor de Havendijk wordt voor de sectie Visafslag alleen voor de faalmechanismen STBI en STBU tot 2073 niet voldaan aan de ondergrens en is het waterveiligheidsoordeel dus onvoldoende. Voor de overige beschouwde faalmechanismen is tot 2073 het waterveiligheidsoordeel voldoende. Voor de sectie Paleiskade was in LBO-1 het waterveiligheidsoordeel voor STBU onvoldoende. Bij de voor het faalmechanisme STBU uitgevoerde nadere veiligheidsanalyse is gebleken dat dit oordeel aangescherpt kan worden en er in 2023 voor dit faalmechanisme geen opgave is. De secties Het Nieuwe Diep en Het Nieuwe Werk zijn niet beschouwd in de nadere veiligheidsanalyse. Het Nieuwe Diep scoort onvoldoende op de faalmechanismen ZST en STBU. In combinatie met de beoogde meekoppelkansen (naar buiten plaatsen kade en vervangen talud door een verticale wand) zal versterkingen van deze sectie een (positief) effect hebben ten aanzien van bijvoorbeeld de hoogte van de dijk. Voor de andere faalmechanismen is daarom niet nagegaan of er tot 2073 nog een extra opgave is te verwachten. Voor Het Nieuwe Werk is het opzetten van een nieuw golfmodel duur en tijdrovend en zal dit geen volledig uitsluitsel zal geven ten aanzien van de veiligheidsanalyse. Daarentegen is een eenvoudige ontwerpaanpassing in de vorm van een teenvoorziening relatief goedkoop en toekomstbestendig te realiseren.

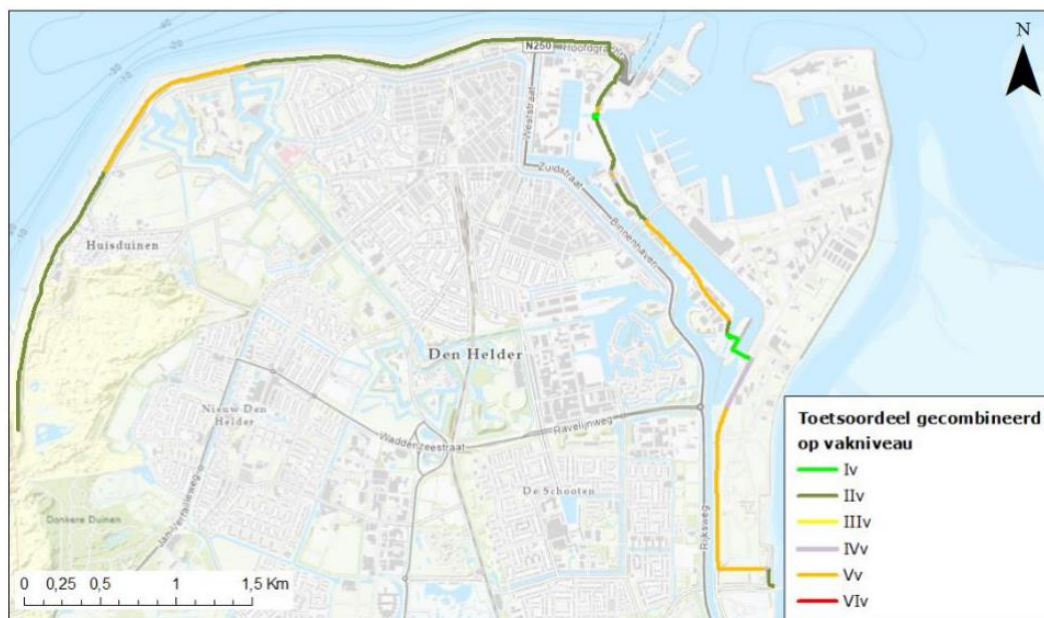
Merk op dat dit de eerste versie van de rapportage van de Nadere Veiligheidsanalyse van dijktraject 13-4 betreft. In de tweede versie van dit rapport zullen voor een aantal secties nog een aantal mechanismen verder uitgewerkt en aangescherpt worden. Het betreft: STPH voor de sectie Het Nieuwe Diep van deeltraject Havendijk en de faalmechanismen NWO's, ZST en STBU voor het deeltraject Helderse Zeewering.



1 Inleiding

1.1 Aanleiding

Bij de eerste Landelijke Beoordelingsronde Overstromingskans van primaire waterkeringen (LBO-1) is gebleken dat het veiligheidsoordeel, te zien in Figuur 1, van dijktraject 13-4 in categorie C valt. Dit betekent dat de overstromingskans van het dijktraject groter is dan de ondergrens en dus niet aan de norm voldoet. Via de ingangstoets, waarbij de zogenaamde Trajectaanpak is gevolgd, is de versterking van dijktraject 13-4 aangemeld bij het Hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP) en geprogrammeerd.



Figuur 1: Toetsoordeel LBO-1 beoordeling dijktraject 13-4 in 2021.

Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier (HHNK) pakt de versterking op binnen het HWBP-project *Dijkversterking Den Helder*. Binnen dit project worden twee deeltrajecten beschouwd: de Helderse Zeewering (D85) en de Havendijk (D86). Voor de Helderse Zeewering scoort de sectie Kaaphoofd (Vak 3) onvoldoende op het faalmechanisme *Bezwijken asfaltbekleding ten gevolge van golfklappen* (AGK), zie Figuur 2.



Figuur 2: Secties Helderse zeewering



Bij de Havendijk voldoen in totaal vier secties niet aan de norm, zie Figuur 3. Voor de sectie Paleiskade is er voor het faalmechanisme *macrostabiliteit buitenwaarts* (STBU) een opgave. Voor sectie Visafslag (I, II en III) is er behalve voor het faalmechanisme STBU een opgave voor het faalmechanisme *macrostabiliteit binnenwaarts* (STBI). Voor de sectie Het Nieuwe Diep (I en II) is er een opgave voor de faalmechanismen STBU, *piping en heave* (STPH) en *stabiliteit steenzetting* (ZST). Voor het faalmechanisme ZST is ook een opgave voor de sectie Het Nieuwe Werk.



Figuur 3: Secties Havendijk.

1.2 Scope nadere veiligheidsanalyse

Om te komen tot een stabiele veiligheidsopgave is door HHNK voor beide deeltrajecten een nadere veiligheidsanalyse uitgevoerd. Bij deze analyse is nagegaan of:

1. nieuwste inzichten aanleiding geven tot aanscherping of uitbreiding van de scope;
2. er voor secties die niet aan de norm voldoen een extra opgave tot 2073 (zichtjaar voor analyse) te verwachten is.

Verder geldt dat de secties Het Nieuwe Diep (I en II) en Het Nieuwe Werk van het deeltraject Havendijk niet zijn beschouwd in de nadere veiligheidsanalyse. Voor sectie Het Nieuwe Diep (I en II) geldt dat de op de kade aanwezige klinkers onder maatgevende omstandigheden niet stabiel zijn, waardoor er ter hoogte van de teen van het buitentalud een ontgrondingskuil kan ontstaan. Omdat deze ontgrondingskuil kan resulteren in instabiliteit van de teen en bekleding op het talud scoort het faalmechanisme ZST een onvoldoende. Behalve voor het faalmechanisme ZST scoort ook het faalmechanisme STBU een onvoldoende. In combinatie met de beoogde meekoppelkansen (naar buiten plaatsen kade en vervangen talud door een verticale wand) zal versterkingen van deze sectie een (positief) effect hebben ten aanzien van bijvoorbeeld de hoogte van de dijk. Voor de andere faalmechanismen is daarom niet nagegaan of er tot 2073 nog een extra opgave is te verwachten. Voor de sectie Het Nieuwe Werk zijn de overige faalmechanismen niet in beeld gebracht omdat het opzetten van een nieuw golfmodel duur en tijdrovend is en geen volledig uitsluitsel zal geven ten aanzien van het waterveiligheidsoordeel. De sectie kan daarentegen met een relatief goedkoop en toekomstbestendig versterkt worden.



Ad 1.

Naar aanleiding van de aanbevelingen uit de ingangstoets is voor de secties van het deeltraject Havendijk gekeken of het oordeel van LBO-1 voor de faalmechanismen STBU, STBI en STPH, en daarmee de scope, aangescherpt konden worden. Daarnaast heeft recent onderzoek laten zien dat een asfaltbekleding in geval van een verhoogde grondwaterstand in combinatie met golfaanval kan vervormen en dus de kans op dijkfalen vergroot. Omdat dit faalmechanisme bij LBO-1 niet is beschouwd is voor de asfaltbekleding op de Helderse Zeewering nagegaan of dit faalmechanisme kan optreden en dus voor uitbreiding van de scope zorgt.

Ad 2.

Voor de faalmechanismen die tijdens LBO-1 (2023) voldoende scoorden, is de verandering tot 2073 in beeld gebracht door eerst het veiligheidsbeeld tot 2073 te bepalen. In het geval dat het waterveiligheidsoordeel onvoldoende is voor het zichtjaar 2073, is het omslagpunt bepaald tot wanneer het faalmechanisme wel voldoet.

Merk op dat bij de analyse van een faalmechanisme alleen naar het oordeel op vakniveau is gekeken. De oordelen per vak voor een faalmechanisme zijn niet gecombineerd tot een oordeel voor het dijktraject.

De faalmechanismen die niet direct leiden tot falen van de dijk, indirecte faalmechanismen zoals het bezwijken van niet waterkerende objecten (NWO's) en het voorland als gevolg golfafslag, afschuiving en zettingsvloeiing, zijn niet beschouwd. Merk op dat de vooroever Kaaphoofd Marsdiep van deeltraject Helderse Zeewering reeds wordt aangemerkt als risicolocatie. Deze locatie kenmerkt zich door aandacht voor gaten in de vooroeverbekleding (zinkstukken en stortsteen). Deze gaten zijn van invloed op het risico op het bezwijken van het voorland als gevolg van zettingsvloeiing.

1.3 Leeswijzer

Voor de uitgevoerde nadere veiligheidsanalyse voor de Helderse Zeewering en Havendijk zijn per faalmechanisme rapportages opgesteld. Dit rapport vat de resultaten van deze rapportages samen, zodat een totaaloverzicht van de veiligheidsopgave wordt verkregen. In hoofdstuk 2 is een beschrijving van het dijktraject en beide deeltrajecten te vinden. Hoofdstuk 3 gaat in op de voor de nadere veiligheidsanalyse gevolgde aanpak. In hoofdstukken 5 en 6 worden de resultaten van de uitgevoerde analyses voor de secties van respectievelijk de Helderse Zeewering en de Havendijk beschreven. Hoofdstuk 6 sluit af met de conclusie.



2 Beschrijving dijktraject en deeltrajecten

2.1 Dijktraject 13-4

Dijktraject 13-4 heeft een totale lengte van 10,16 km en loopt van de duinen bij Callantsoog tot Spuisluis Oostoever. Het traject, te zien in Figuur 4, is opgedeeld in vier deeltrajecten: De Verlengde Helderse Zeewering (A), de Helderse Zeewering (B), de Havendijk (C) en de Koegraszeedijk (D). In dit rapport wordt alleen ingegaan op de Helderse Zeewering (B) en de Havendijk (C). Conform de Waterwet heeft dijktraject 13-4 een ondergrens 1/1.000 per jaar.



Figuur 4: Overzicht van dijktraject 13-4 met daarin de vier deeltrajecten

2.2 Deeltraject Helderse Zeewering

De Helderse Zeewering is circa 4,5 kilometer lang en ligt aan zowel de Noordzee (westen) als Waddenzee (noorden). De Helderse Zeewering sluit ter hoogte van Huisduinen aan op de Verlengde Helderse Zeewering. Ter hoogte van de veerhaven van Den Helder sluit de Helderse Zeewering aan op de Havendijk. De Helderse Zeewering heeft een zandkern die is afgedekt met een afdeklaag van klei. Op zowel de kruin als binnentalud is een grasbekleding aanwezig (lokaal is op de kruin een verharding aanwezig is). Aan de buitenzijde bestaat de dijkbekleding uit een steenzetting (basaltzuilen), een asfaltbekleding van waterbouwasfaltbeton (WAB) en een grasbekleding. Lokaal is boven het WAB een asfaltbekleding van open steenasfalt (OSA) aanwezig. De Helderse Zeewering grenst aan de getijdegeulen: Schulpengat, Marsdiep en Breewijd welke onderdeel uitmaken van de Natura 2000-gebieden Noorseekustzone en de Waddenzee.



Figuur 5: Helderse zeewering met zicht op Huisduinen en de Lange Jaap

2.3 Deeltraject Havendijk

De Havendijk is een 2,6 kilometer lange dijk tussen de Helderse Zeewering en de Koegraszeedijk. Ter hoogte van de (voormalige) visafslag heeft de dijk een groene uitstraling en ter hoogte van Het Nieuwe Diep betreft het een verharde kering met een combinatie van beton, basalton en klinkers.

De Havendijk ligt midden in de haven van Den Helder. De Havendijk is zowel voor de havenindustrie als voor defensie van economisch belang. Langs Het Nieuwe Diep liggen veel offshore schepen. De visserij is niet meer actief in Den Helder. Aan de overkant van de Havendijk ligt het marine terrein. De kering heeft verschillende functies, zoals een weg- en fietspad, een laad- en loskade, haventerrein en verbindingsweg voor o.a. de Moormanbrug en de Van Kinsbergenbrug.



Figuur 6: Visafslag (links) en Het Nieuwe Diep (rechts).



3 Aanpak nadere veiligheidsanalyse

Dit hoofdstuk beschrijft de door Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier (HHNK) beschouwde faalmechanismen, uitgangspunten en aanpak voor de nadere veiligheidsanalyse.

3.1 Beschouwde faalmechanismen

In de nadere veiligheidsanalyse zijn voor de bekledingen (steenzetting, asfaltbekleding en grasbekleding) de volgende faalmechanismen beschouwd:

- Bezwijken asfaltbekleding door ontstaan S-profiel (ASP)¹;
- Stabiliteit steenzetting (ZST);
- Bezwijken asfaltbekleding ten gevolge van golfklappen (AGK);
- Bezwijken asfaltbekleding ten gevolge van wateroverdrukken (AWO);
- Grasbekleding afschuiven buitentalud (GABU);
- Grasbekleding erosie buitentalud (GEBU);
- Grasbekleding erosie kruin en binnentalud (GEKB); en
- Grasbekleding afschuiven binnentalud (GABI).

Voor geotechniek zijn de volgende faalmechanismen beschouwd:

- Macrostabiliteit buitenwaarts (STBU);
- Macrostabiliteit binnenwaarts (STBI);
- Piping en heave (STPH); en
- Microstabiliteit (STMI).

3.2 Algemene uitgangspunten

Bij de nadere veiligheidsanalyse zijn de volgende algemene uitgangspunten gehanteerd:

- Zichtjaar 2073.
- Overstromingskansnorm is gelijk aan de ondergrens.
- Als in het zichtjaar niet wordt voldaan aan de ondergrens, is gekeken wanneer wel wordt voldaan. Dit geldt alleen voor de faalmechanismen waarvoor een (semi-)probabilistische analyse wordt uitgevoerd (die door extrapolatie een afstand tot de norm leveren): GEKB, STBI, STPH.
- Hydraulische belastingen:
 - o HB-Database WBI2017_Waddenzee_West_13-4_v04
 - o Klimaatscenario W+²
 - o Zeespiegelstijging 0,48 m voor W+ en 0,15 m voor G
- Geen verandering van de geometrie in de komende 50 jaar.

¹ Het faalmechanisme ASP is niet beschouwd tijdens LBO-1 en wordt voor de nadere veiligheidsanalyse voor het eerst beschouwd.

² Voor de geotechnische faalmechanismen (STBI, STBU, STPH, STMI) is naast klimaatscenario W+ ook naar G gekeken.



- Geen verandering in de eigenschappen van de top- en onderla(a)g(en) in de komende 50 jaar.

3.3 Aanpak nadere veiligheidsanalyse

3.3.1 Bekledingen

Met uitzondering van de faalmechanismen AGK en ASP is voor alle faalmechanismen dezelfde analyse van de belasting en sterkte als voor LBO-1 uitgevoerd. Bij deze analyse is feitelijk alleen de belasting gewijzigd. Dat betekent dat voor de analyse dezelfde vakindeling en schematisatie als voor LBO-1 is gebruikt. In Tabel 1 is per faalmechanisme de aanpak op hoofdlijnen beschreven. Voor een uitgebreide beschrijving van de aanpak en gebruikte parameters voor de analyse van de belasting en sterkte wordt verwezen naar de onderliggende rapportages.

Tabel 1: Aanpak op hoofdlijnen voor de verschillende faalmechanismen voor bekledingen

Faalmechanisme	Aanpak op hoofdlijnen
ASP	Voor ASP is met behulp van een vereenvoudigde rekenmethode nagegaan of het WAB tijdens extreme omstandigheden geval van een verhoogde grondwaterstand in combinatie met golfaanval kan vervormen. Deze analyse is uitgevoerd voor drie raaien voor belastingen in zowel 2023 als 2073. Het faalmechanisme is alleen beschouwd voor de Helderse Zeewering.
ZST	Voor ZST is voor alle voor LBO-1 beschouwde vakken nagegaan of de aanwezige steenzetting tot 2073 voldoende stabiel is. Omdat dezelfde vakindeling en schematisaties gebruikt worden als voor LBO-1 zijn voor deze analyse dezelfde rekenbestanden gebruikt als voor LBO-1. In deze rekenbestanden is alleen de belasting aangepast.
AGK	Op basis van de resultaten van LBO-1 mag worden verwacht dat de levensduur van het waterbouwasfaltbeton (WAB) beperkt is. Voor het WAB is daarom een restlevensduuranalyse met de software BM – Asfalt Golfklap uitgevoerd. Deze analyse is uitgevoerd met belastingen voor zowel 2023 als 2073. De Helderse Zeewering is daarbij onderverdeeld in vier secties. Voor één sectie is de restlevensduur niet nader beschouwd omdat deze voor het faalmechanisme AGK in 2023 niet aan de norm voldoet.
AWO	Voor AWO is voor alle voor LBO-1 beschouwde vakken nagegaan of tot 2073 het niveau van de onderrand van de asfaltbekleding (zowel het WAB als het OSA) boven de maximale voor de analyse te beschouwen waterstand ligt. Als dat het geval is, dan is met behulp van een evenwichtsbeschouwing nagegaan of de asfaltbekleding opgedrukt kan worden.
GABU	Voor GABU is voor alle voor LBO-1 beschouwde vakken nagegaan of tot 2073 de grasbekleding boven de maximale voor de analyse te beschouwen waterstand ligt. Als dat het geval is, dan is met behulp van een evenwichtsbeschouwing nagegaan of de grasbekleding kan afschuiven.
GEPU	Voor GEPU is voor alle voor LBO-1 beschouwde vakken nagegaan of de aanwezige grasbekleding tot 2073 voldoende weerstand kan bieden tegen golfklap en golfoploop. Omdat dezelfde vakindeling en schematisaties gebruikt worden als voor LBO-1 zijn voor deze analyse dezelfde rekenbestanden gebruikt als voor LBO-1. In deze rekenbestanden is alleen de belasting aangepast.
GEKB	Voor GEKB is voor alle voor LBO-1 beschouwde vakken nagegaan of tot 2073 de overschrijdingsfrequentie van een overslagdebiet van 0,1 l/s per m kleiner is dan de faalkanseis op doorsnedeniveau (aangenomen mag worden dat de grasbekleding een dergelijk overslagdebiet zonder schade kan doorstaan). Zo niet, dan is nagegaan welke overslagdebiet te verwachten is en is, indien nodig, de faalkans gegeven de sterkte van de grasbekleding bepaald.



GABI	Voor GABI is voor alle voor LBO-1 beschouwde vakken nagegaan of tot 2073 overschrijdingsfrequentie behorende bij een overslag van 0,1l/s/m kleiner is dan de maximale toelaatbare overstromingskans. Zo niet, dan is met behulp van evenwichtsbeschouwingen nagegaan of de grasbekleding kan opdrukken en/of afschuiven.
------	--

Voor de sectie Visafslag van het deeltraject Havendijk is, zoals voor LBO-1, ook de stabiliteit van de vloeiستofdichte vloer beoordeeld.

3.3.2 Geotechniek

De analyse van alle faalmechanismen is uitgevoerd op basis van de resultaten en analyse die in LBO-1 is uitgevoerd. Daarbij zijn voor de faalmechanismen STBU en STBI per dijkvak één of twee maatgevende doorsnedes beschouwd. Voor STPH en STMI zijn alle profielen uit LBO-1 opnieuw doorerekend met de belastingen van 2073, waarbij dus dezelfde schematisatie en vakken als in LBO-1 zijn gebruikt. In Tabel 2 is per faalmechanisme de aanpak op hoofdlijnen beschreven. Voor een uitgebreide beschrijving van de aanpak en gebruikte parameters voor de analyse van de belasting en sterkte wordt verwezen naar de onderliggende rapportages.

Tabel 2: Aanpak op hoofdlijnen voor de verschillende geotechnische faalmechanismen

Faalmechanisme	Aanpak op hoofdlijnen
STBU	Voor de situatie met de belastingen voor 2073 is voor maatgevende doorsnedes stabiliteitsanalyses uitgevoerd met behulp van de Lamellen methode (Uplift Van) in D-Stability. Aanvullend is er nog gekeken naar de grondwaterstanden (met behulp van Plaxis). Voor de Havendijk is naar aanleiding van de aanbevelingen uit de ingangstoets eerst gekeken of het oordeel uit LBO-1 aangescherpt kon worden.
STBI	Voor de situatie met de belastingen voor 2073 is voor maatgevende doorsnedes een stabiliteitsanalyse uitgevoerd met behulp van de Lamellen methode (Uplift Van) in D-Stability. Aanvullend is er nog gekeken naar de grondwaterstanden (met behulp van Plaxis). Voor de Havendijk is naar aanleiding van de aanbevelingen uit de ingangstoets eerst gekeken of het oordeel uit LBO-1 aangescherpt kon worden.
STPH	Voor STPH zijn voor alle profielen de sommen uit LBO-1 opnieuw uitgevoerd met de belastingen (waterstand en de stijghoogte) voor 2073.
STMI	Voor STMI is net als in LBO-1 voor alle vakken een eenvoudige toets uitgevoerd waarbij is gekeken of de grondwaterstand het binnentalud kan bereiken met de belastingen (waterstand) voor 2073. Als dat het geval is, dan is voor een aantal vakken een gedetailleerde beoordeling uitgevoerd waarbij gecontroleerd is of de kleibekleding aan het binnentalud kan afschuiven of opdrukken of dat de zandkern zou kunnen uitspoelen.



3.4 Gebruikte software

In Tabel 3 is de bij de nadere veiligheidsanalyse van de verschillende faalmechanismen gebruikte software weergegeven.

Tabel 3: Gebruikte software voor nadere veiligheidsanalyse faalmechanismen

Software	Gebruikt voor:
Hydra-NL (v2.8.2)	Bepalen overslagdebieten (GEKB en GABI) Bepalen waterstanden, significante golfhoogte en golfcondities per waterstandniveau (ZST, GEBU, AGK, STBI, STBU, STPH, STMI)
Steentoets (v22.2.1)	Analyse belasting en sterkte (ZST)
Riskeer (v23.1.1.1)	Sterkteberekening (GEKB)
BM – Gras Buitentalud (v21.1.1)	Analyse belasting en sterkte (GEBU)
BM – Asfalt Golfklap (v17.1.1)	Restlevensduuranalyse (AGK)
D-Stability (v2023.01)	Stabiliteitsanalysen (STBI en STBU)
Plaxis 2D 2023.2 (v23.2.0.1059)	Grondwaterstromingsmodellen (ASP, STBI, STBU)
ArcGIS (v10.6)	Bepalen indringingslengte (STMI) Kaartbeelden en visualisaties

3.5 Toelichting op resultaten nadere veiligheidsanalyse

Voor elk van de faalmechanismen wordt het resultaat (faalkans per vak) van de uitgevoerde nadere veiligheidsanalyse uitgedrukt in een categorie, gerelateerd aan de afstand tot de norm:

- Iv t/m IIIv: voldoet (ruim) aan de ondergrens
- IVv: voldoet mogelijk aan de ondergrens
- Vv t/m VIv: voldoet (ruim) niet aan de ondergrens

Daar waar aan de ondergrens wordt voldaan is het waterveiligheidsoordeel voldoende. Als er niet wordt voldaan aan de ondergrens is het waterveiligheidsoordeel onvoldoende.



4 Resultaten Helderse Zeewering

In dit hoofdstuk zijn per faalmechanisme de resultaten van de nadere veiligheidsanalyse voor het deeltraject Helderse Zeewering samengevat. Voor meer toelichting op de resultaten wordt verwezen naar de onderliggende memo's.

4.1 Aanscherping oordeel LBO-1

Bij LBO-1 is het faalmechanisme *Bezwijken asfaltbekleding door ontstaan S-profiel* (ASP) niet beschouwd. Voor de asfaltbekleding op de Helderse Zeewering is daarom nagegaan of dit faalmechanisme kan optreden en dus voor uitbreiding van de scope zorgt. Daarbij zijn in totaal drie raaian beschouwd. Op basis van de vereenvoudigde rekenmethode voor ASP volgt dat voor alle beschouwde raaian de asfaltbekleding, gelet op de golfbelasting en niveau van de freatische lijn tijdens extreme omstandigheden in 2023, zou kunnen vervormen. Omdat de asfaltbekleding in geval van vervorming in korte tijd kan bezwijken, de vervorming redelijk vroeg in het beschouwde stormverloop kan plaatsvinden, het onderliggende zand kan uitspoelen en er weinig tot geen handelingsperspectief is om het overstromingsrisico aanvaardbaar te houden, is sprake van een waterveiligheidsprobleem. **Het oordeel voor het faalmechanisme ASP is daarmee onvoldoende.**

Gelet op bovenstaande wordt voor het hele deeltraject Helderse Zeewering nagegaan of er tot 2073 een opgave voor de overige bij LBO-1 beschouwde faalmechanismen te verwachten is.

4.2 Bekledingen

4.2.1 Stabiliteit steenzetting (ZST)

Uit de nadere veiligheidsanalyse voor ZST blijkt dat tot 2073 voor bijna alle beschouwde vakken sprake van topaaginstabiliteit onder golfaanval. Echter, gelet op de restduur van de filterlaag kan de steenzetting voor deze faalmechanismen als stabiel worden beschouwd. Er zal wel schade ontstaan aan de steenbekleding, maar het zal geruime tijd duren voordat een groot oppervlak is weggeslagen en waardoor het **naar verwachting geen gevaar zal opleveren voor de waterveiligheid. Het waterveiligheidsoordeel voor het faalmechanisme ZST is daarmee voldoende.**

Uit de nadere veiligheidsanalyse voor ZST blijkt ook dat voor een aantal vakken binnen Vak 1 de kans aanwezig is dat tot 2073 het talud afschuift. Momenteel wordt onderzocht of afschuiven daadwerkelijk zou kunnen optreden. De resultaten van dit onderzoek worden in de tweede versie van deze rapportage opgenomen.

4.2.2 Bezwijken asfaltbekleding ten gevolge van golfklappen (AGK)

Voor AGK is in de nadere veiligheidsanalyse voor Vak 1, 2 en 4 een restlevensduuranalyse voor Waterbouwasfaltbeton (WAB) uitgevoerd. Hieruit blijkt dat met de belastingen voor 2073 Vak 1 nog een restlevensduur van meer dan 20 jaar heeft. Voor Vak 2 is de restlevensduur met 10-20 jaar wat korter. Bij Vak 4 is de restlevensduur 0 jaar. Met de belastingen voor 2023 zou Vak 4 een restlevensduur hebben van 10-20 jaar. Er is voor dit vak dus nog geen acuut gevaar voor de waterveiligheid, maar het WAB in deze sectie zou wel het eerst in aanmerking komen voor vervanging.



Voor het bepalen van de restlevensduur wordt aangenomen dat de freatische lijn niet tot onder het WAB reikt, echter is er bij de analyse van het faalmechanisme ASP geconstateerd dat dit wel degelijk mogelijk is. Daarnaast blijkt uit de analyse van ASP dat het WAB tijdens een storm zou kunnen vervormen. **Het waterveiligheidsoordeel voor het faalmechanisme AGK is daarmee onvoldoende.**

4.2.3 Bezwijken asfaltbekleding ten gevolge van wateroverdrukken (AWO)

Voor AWO is voor alle vakken met open steenasfalt (OSA) en waterbouwasfaltbeton (WAB) nagegaan of tot 2073 het niveau van de onderrand van het asfalt boven de voor de analyse te beschouwen maximale waterstand ligt. Voor alle vakken met OSA geldt dat het OSA ruim boven de waterstand ligt en de faalkans dus verwaarloosbaar is. Voor de vakken met WAB is dat niet het geval. Voor deze vakken is met behulp van een evenwichtsbeschouwing gekeken of het aanwezige asfalt voldoende dik is om niet op te drukken. Dit is overal het geval. Er kan dan ook geconcludeerd worden dat voor alle beschouwde vakken geldt dat de faalkans verwaarloosbaar is. **Het oordeel voor het faalmechanisme AWO valt daarmee in categorie Iv: er wordt ruim voldaan aan de ondergrens en het waterveiligheidsoordeel is daarmee voldoende.**

4.2.4 Grasbekleding afschuiven buitentalud (GABU)

Bij de analyse van het faalmechanisme GEBU is geconstateerd dat tot 2073 de grasbekleding nergens in de golfklapzone ligt. Tot 2073 zal, zoals voor LBO-1, de kans op falen van de grasbekleding voor het faalmechanisme GABU dan ook verwaarloosbaar zijn. Voor alle voor het faalmechanisme GEBU beschouwde vakken geldt dat de **het oordeel voor het faalmechanisme GABU in categorie Iv valt: er ruim voldaan aan ondergrens en het waterveiligheidsoordeel is daarmee voldoende.**

4.2.5 Grasbekleding erosie buitentalud (GEBU)

Uit de uitgevoerde analyse van de belasting en sterkte voor het faalmechanisme GEBU volgt dat de grasbekleding op het buitentalud tot 2073 in geval van een gesloten zode voldoende weerstand kan bieden tegen erosie als gevolg van golfoploop. Voor alle vakken geldt dat **het oordeel voor het faalmechanisme GEBU minimaal in categorie IIIv valt. Daarmee wordt voldaan aan de ondergrens en het waterveiligheidsoordeel is daarmee voldoende.**

4.2.6 Grasbekleding erosie kruin en binnentalud (GEKB)

Voor alle vakken is de overschrijdingsfrequentie van een overslagdebiet van 0,1 l/s per m bepaald. Voor bijna alle vakken is de overschrijdingsfrequentie kleiner dan de faalkanseis op doorsnedeniveau bij de ondergrens. Bij vier vakken is deze frequentie echter en is ook de overschrijdingsfrequentie van een overslagdebiet van 1 l/s per m bepaald. Deze frequentie is minimaal circa 1,5 keer kleiner dan de faalkanseis. Op basis van resultaten van golfoverslagproeven mag worden verwacht dat de grasbekleding bij een overslagdebiet kleiner dan 1 l/s per m voldoende weerstand kan bieden tegen de erosieve werking van overslaande golven. Er kan geconcludeerd worden dat voor alle vakken geldt dat **het oordeel voor het faalmechanisme GEKB minimaal in categorie IIv valt: er wordt voldaan aan de ondergrens en het waterveiligheidsoordeel is daarmee voldoende.**

4.2.7 Grasbekleding afschuiven binnentalud (GABI)

Bij de analyse van het faalmechanisme GEKB is geconstateerd dat tot 2073 voor alle beschouwde vakken de overschrijdingsfrequentie van een overslagdebiet van 0,1 l/s per m kleiner is dan de maximaal toelaatbare overstromingskans. Dit betekent dat tot 2073 de kans op falen van de grasbekleding voor het faalmechanisme GABI verwaarloosbaar zal zijn. Voor alle voor het faalmechanisme GEKB beschouwde vakken geldt dat **het oordeel voor het faalmechanisme**



GABI valt in categorie Iv. Daarmee wordt ruim voldaan aan de ondergrens en het waterveiligheidsoordeel is daarmee **voldoende.**

4.3 Geotechniek

4.3.1 Macrostabieliteit Binnenwaarts (STBI)

Uit de gemaakte berekening voor STBI volgt dat de beschouwde profielen, die representatief worden geacht voor een indruk van de faalkansen binnen het gehele dijktraject van de Helderse Zeewering, minimaal **voldoen aan categorie IIIv: voldoet aan de ondergrens en het waterveiligheidsoordeel is daarmee voldoende**.

Voor het maatgevende profiel, welke één van de vakken betrof met de laagste veiligheidsfactoren, valt op dat het verschil in klimaatscenario niet direct resulteert in een verandering van de veiligheids categorie. Bij het representatieve profiel resulteert een hogere zeespiegelstijging wel in een verandering van de veiligheids categorie. Op basis van deze resultaten kan geconcludeerd worden dat voor zichtjaar 2073 de waterkering nog aan de ondergrens zal voldoen, onafhankelijk van klimaatscenario G of W+.

4.3.2 Macrostabieliteit Buitenwaarts (STBU)

Voor STBU zijn voor zichtjaar 2073 twee doorsnedes beschouwd: een representatief profiel en het meest maatgevende profiel. Uit de gemaakte berekening voor STBU volgt dat het representatieve profiel, welke gemiddeld wordt geacht voor een indruk van de faalkansen binnen het gehele dijktraject van de Helderse Zeewering, voldoet aan de ondergrens voor 2073 bij klimaatscenario W+. Echter blijkt voor het meest maatgevende profiel dat deze op termijn niet meer zal voldoen en dat de faalkans onder de ondergrens kan uitkomen bij een toenemende stijging van de zeespiegel. **Het oordeel voor het faalmechanisme STBI voor de beschouwde locatie voor 2073 valt in categorie Vv. Daarmee wordt niet voldaan aan de ondergrens en het waterveiligheidsoordeel is daarmee onvoldoende.** Voor klimaatscenario W+ is gekeken op welk moment in de tijd de berekende faalkans onder de ondergrens uitkomt. Uit de gevoeligheidsberekening volgt dat een zeespiegelstijging van 12 cm kan resulteren in het kantelen van de categoriescore. **Dit betekent dat in 2036 de meest maatgevende profiellocatie niet meer aan de ondergrens zal voldoen³.**

4.3.3 Piping en heave (STPH)

Voor het faalmechanisme STPH voldoen alle beschouwde profielen aan klimaatscenario W+ aan de ondergrens. **Het oordeel voor het faalmechanisme STPH valt daarmee in categorie Iv of IIv: voldoet (ruim) aan de ondergrens en het waterveiligheidsoordeel is daarmee voldoende.** Merk op dat de resultaten van de nadere veiligheidsanalyse nog niet zijn gecorrigeerd voor het lengte-effect op vakniveau. Hierdoor zou de faalkans wat hoger kunnen zijn op vakniveau, maar de verwachting is dat dit voor de faalkans op normtrajectniveau nog steeds voldoet.

4.3.4 Microstabieliteit (STMI)

Voor STMI is, mede gelet op de breedte van de dijk, met behulp van de eenvoudige beoordeling op indringingslengte geconcludeerd dat deze voor alle beschouwde profielen **voldoet aan de ondergrens bij klimaatscenario W+ voor zichtjaar 2073. Het waterveiligheidsoordeel is daarmee voldoende.**

³ Dit kantelpunt zal in een tweede versie van dit rapport verder aangescherpt worden.



5 Resultaten Havendijk

In dit hoofdstuk zijn per faalmechanisme de resultaten van de nadere veiligheidsanalyse voor het deeltraject Havendijk samengevat. Voor meer toelichting op de resultaten wordt verwezen naar de onderliggende memo's.

5.1 Aanscherping oordeel LBO-1

Naar aanleiding van de aanbevelingen uit de ingangstoets is voor de secties Paleiskade en Visafslag (I, II en II) gekeken of voor de faalmechanismen *Macrostabiliteit buitenwaarts* (STBU) en *Macrostabiliteit binnenwaarts* (STBI) het oordeel van LBO-1 aangescherpt kon worden.

Tijdens een expertsessie is op basis van een faalpadanalyse voor de sectie Paleiskade ingeschat dat alleen de faalkans voor het faalmechanisme STBU aangescherpt kan worden: **de faalkans is voldoende klein waarmee het waterveiligheidsoordeel voor het faalmechanisme STBU als voldoende kan worden beschouwd**. Dit betekent dat de overige bij LBO-1 beschouwde faalmechanismen voor de sectie Paleiskade niet beschouwd hoeven te worden.

Voor de sectie Visafslag kon het oordeel voor het faalmechanisme STBI niet aangescherpt worden: **het waterveiligheidsoordeel voor het faalmechanisme STBI blijft dan ook onvoldoende**.

Gelet op bovenstaande wordt van het deeltraject Havendijk alleen nog voor de sectie Visafslag nagegaan of er tot 2073 een opgave voor de overige bij LBO-1 beschouwde faalmechanismen te verwachten is.

5.2 Bekledingen

5.2.1 Stabiliteit steenzetting (ZST)

Het faalmechanisme ZST is niet beschouwd omdat in de sectie Visafslag geen steenzetting op het buitentalud aanwezig is.

Merk op dat de secties Het Nieuwe Diep (I en II) en Het Nieuwe Werk niet bij de nadere veiligheidsanalyse zijn beschouwd. Voor deze secties is het oordeel overgenomen uit LBO-1. **Het waterveiligheidsoordeel blijft onvoldoende**. Voor het Nieuwe Diep (I en II) scoort ook het faalmechanisme STBU een onvoldoende. Het aanpakken van de steenzetting is onderdeel van de oplossing voor het faalmechanisme STBU.

Voor de sectie Het Nieuwe Werk is naar de golfbelasting op het zetwerk geen nader onderzoek gedaan. Het opzetten van een nieuw golfmodel is duur en tijdrovend en zal geen volledig uitsluitel geven ten aanzien van de veiligheidsanalyse. Daarentegen is een eenvoudige ontwerpaanpassing in de vorm van een teenvoorziening relatief goedkoop en toekomstbestendig. Gezien de eenvoudige ontwerpaanpassing zijn de overige faalmechanismen voor deze sectie niet in beeld gebracht.

5.2.2 Bezijken asfaltbekleding door golfklappen (AGK)

Het faalmechanisme AGK is niet beschouwd omdat in de sectie Visafslag geen asfaltbekleding op het buitentalud aanwezig is.



5.2.3 Bezwijken asfaltbekleding door ontstaan S-profiel (ASP)

Het faalmechanisme ASP is niet beschouwd omdat in de sectie Visafslag geen asfaltbekleding op het buitentalud aanwezig is.

5.2.4 Bezwijken asfaltbekleding ten gevolge van wateroverdrukken (AWO)

Het faalmechanisme AWO is niet beschouwd omdat in de sectie Visafslag geen asfaltbekleding op het buitentalud aanwezig is.

5.2.5 Grasbekleding afschuiven buitentalud (GABU)

Wanneer ervan uit wordt gegaan dat het niveau van de onderzijde van de grasbekleding niet verandert, zal de grasbekleding tot 2073 beneden de voor de analyse te gebruiken maatgevende waterstand liggen. Op basis van marginale statistiek wordt bij een overschrijdingsfrequentie getalsmatig gelijk aan de maximale overstromingskans een golfhoogte van circa 1,3 m gevonden. Deze golfhoogte is groter dan de aanwezige kleilaagdikte (0,7 m). Wanneer echter met Hydra-NL voor deze overschrijdingsfrequentie de golfcondities voor "Afschuiven bekleding (ondergrond klei)" wordt bepaald, dan is de maximale golfhoogte kleiner dan de kleilaagdikte en kan op basis van de eenvoudige rekenregel worden gesteld dat tot 2073 de faalkans voor het faalmechanisme GABU verwaarloosbaar is. **Het oordeel voor het faalmechanisme GABU valt daarmee in categorie Iv: er wordt (ruim) voldaan aan de ondergrens en het waterveiligheidsoordeel is daarmee voldoende.**

5.2.6 Grasbekleding Erosie buitentalud (GEBU)

Wanneer ervan uit wordt gegaan dat het niveau van de onderzijde van de grasbekleding niet verandert, ligt bij een waterstand met een terugkeertijd van 60.000 jaar de grasbekleding in de golfklapzone. Om na te gaan of voor golfcondities tot 2073 de grasbekleding voldoende weerstand tegen golfklappen kan bieden zijn met BM – Gras Buitentalud golfklapberekening in de modus "Test / Expert" (bij deze berekeningen wordt dan de invloed van schuin invallende golven meegenomen) uitgevoerd. Voor deze golfklapberekeningen is gebruik gemaakt van de bij LBO-1 gebruikte rekenbestanden (aangenomen wordt dus dat de geometrie de komende 50 jaar niet zal veranderen). Voor deze berekening zijn feitelijk dus alleen de golfcondities en het waterstandsverloop gewijzigd. De berekening laat zien dat in geval van een open zode de faalfractie kleiner is dan 1,0 (de veiligheidsfactor is dan groter dan 1,0). In geval van een gesloten zode is de veiligheidsfactor ruim groter dan 1,0. **Het oordeel voor het faalmechanisme GEBU valt minimaal in categorie IIIv: er wordt voldaan aan de ondergrens en het waterveiligheidsoordeel is daarmee voldoende.**

5.2.7 Grasbekleding Erosie Kruin en Binnentalud (GEKB)

Voor het faalmechanisme GEKB is nagegaan wat de overschrijdingsfrequentie van een overslagdebiet van 0,1 l/s per m is. Hierbij is hetzelfde profiel als voor LBO-1 (13-4_0408) gebruikt (aangenomen wordt dus dat de geometrie de komende 50 jaar niet zal veranderen). Uit de berekening met Hydra-NL volgt dat de overschrijdingsfrequentie (1/637 per jaar) groter is dan de overschrijdingsfrequentie getalsmatig gelijk aan de maximale overstromingskans op doorsnedeniveau voor het faalmechanisme GEKB (1/12.500 per jaar). Het overslagdebiet bij de maximale overstromingskans op doorsnedeniveau is circa 26 l/s per m. Om na te gaan of de grasbekleding op het binnentalud de belasting kan weerstaan is met Riskeer een faalkansberekening gemaakt. Voor de kansverdeling van het kritieke overslagdebiet van een open zode wordt in 2100 een faalkans van 1/@ jaar gevonden. Deze faalkans is kleiner dan faalkanseis. **Het oordeel voor het faalmechanisme GEKB valt minimaal in categorie IIv: er wordt voldaan aan de ondergrens en het waterveiligheidsoordeel is daarmee voldoende.**



5.2.8 Grasbekleding Afschuiven binnentalud (GABI)

De voor het faalmechanisme GEKB berekende overschrijdingsfrequentie van een overslagdebiet van 0,1 l/s per m is 1/637 jaar. Deze frequentie is groter dan de overschrijdingsfrequentie getalsmatig gelijk aan de maximale overstromingskans (1/1.000 per jaar). Bij een overslagdebiet van 1 l/s per m is de overschrijdingsfrequentie kleiner dan de maximale overstromingskans. Dit betekent dat het overslagdebiet kleiner is dan 1 l/s per m. Gelet op de beperkte hoeveelheid overslag mag worden verwacht dat de faalkans voor het faalmechanisme verwaarloosbaar is. **Het oordeel voor het faalmechanisme GABI valt in categorie Iv: er wordt (ruim) voldaan aan de ondergrens en het waterveiligheidsoordeel is daarmee voldoende.**

5.2.9 Stabiliteit vloeistofdichte vloer

In LBO-1 is geconcludeerd dat golfklappen niet maatgevend zijn en opdrukken alleen kan plaatsvinden als er een goed werkend fijnmazig drainagesysteem onder vloer zit die uitmondt aan de havenzijde. Dit systeem blijkt niet aanwezig te zijn en opdrukken kan dus niet plaatsvinden. Een hogere waterstand (en golfhoogte) tot 2073 zal dus niet van invloed zijn op dit oordeel en ook tot 2073 zal **de faalkans voor dit faalmechanisme verwaarloosbaar zijn. Het oordeel valt daarmee in categorie Iv: er wordt (ruim) voldaan aan de ondergrens en het waterveiligheidsoordeel is daarmee voldoende.**

5.3 Geotechniek

5.3.1 Macrostabiliteit Binnenwaarts (STBI)

Voor de Visafslag kon de faalkans voor STBI van sectie I niet worden aangescherpt: **in 2023 wordt niet aan ondergrens voldaan. Het waterveiligheidsoordeel is daarmee onvoldoende.**

Merk op dat voor sectie Het Nieuwe Diep (I en II) ook het faalmechanisme STBI beschouwd is en dat daaruit is gebleken dat deze tot 2073 nog voldoet aan de ondergrens.

5.3.2 Macrostabiliteit Buitenwaarts (STBU)

Voor de Visafslag kon de faalkans voor STBU van sectie II niet worden aangescherpt: **in 2023 wordt niet aan ondergrens voldaan. Het waterveiligheidsoordeel is daarmee onvoldoende.** Voor secties I en III is het oordeel niet aangescherpt, maar is omdat deze voldeden aan de norm een nadere analyse voor zichtjaar 2073 uitgevoerd. Uit de stabiliteitsanalyse volgt dat de faalkans voor het faalmechanisme STBU ook tot 2073 naar verwachting **nog zal voldoen aan de ondergrens. Het waterveiligheidsoordeel is daarmee voldoende.**

Merk op dat voor sectie Het Nieuwe Diep (I en II) ook met experts is gekeken naar oordeel voor het faalmechanisme STBU en dat daaruit is gebleken dat deze niet aangescherpt kon worden. Voor deze sectie blijft **het waterveiligheidsoordeel voor het faalmechanisme STBU blijft dan ook onvoldoende.**

5.3.3 Piping en heave (STPH)

STPH is vanuit LBO-1 goedgekeurd voor de Visafslag. Bij de nadere veiligheidsanalyse is het veiligheidsoordeel voor dit faalmechanisme ook tot 2073 goedgekeurd.

Merk op dat voor dit faalmechanisme nog wordt gekeken of het mogelijk is om het oordeel voor Het Nieuwe Diep I en II aan te scherpen. De verwachting is dat dit het mechanisme voor deze secties



nog een voldoende kan scoren. Resultaten van dit nadere onderzoek zullen in de tweede versie van dit rapport worden opgenomen.

5.3.4 Microstabiliteit (STMI)

Voor STMI is met behulp van de eenvoudige beoordeling op indringingslengte geconcludeerd dat het beschouwde profielen voor de sectie Visafslag niet voldoet aan de ondergrens bij klimaatscenario W+ voor zichtjaar 2073. De voornaamste reden hiervan is het dijklichaam aanzienlijk smaller is, waardoor de indringingslengte groot is.

In een gedetailleerde beoordeling is vervolgens gekeken of de kleibekleding op het binnentalud kan afschuiven of opdrukken of dat de zandkern door de kleibekleding kan uitspoelen. Uit deze analyse is gebleken dat wordt voldaan aan de eisen. Er kan dan ook geconcludeerd worden dat **voor STMI wordt voldaan aan de ondergrens bij klimaatscenario W+ voor zichtjaar 2073. Het waterveiligheidsoordeel is daarmee voldoende.**

Merk op dat voor sectie Het Nieuwe Diep (I en II) ook het faalmechanisme STMI beschouwd is en dat daaruit is gebleken dat deze tot 2073 nog voldoet aan de ondergrens.



6 Conclusie

Voor de deeltrajecten Helderse Zeewering en Havendijk is in onderstaande paragrafen de conclusie per faalmechanisme samengevat.

6.1 Helderse Zeewering

In Figuur 7 zijn de conclusies van de in H4 beschreven faalmechanismen samengevat weergegeven.



Figuur 7: Waterveiligheidsoordeel samengevat voor alle faalmechanismen voor de Helderse Zeewering tot 2023 (rechts) en tot 2073 (links). Groen is voldoende en oranje is onvoldoende.

In Tabel 4 is voor de verschillende beschouwde faalmechanismen weergegeven of voor het deeltraject Helderse Zeewering tot 2073⁴ op doorsnedeniveau wordt voldaan aan de ondergrens.

Tabel 4: Resultaten Nadere Veiligheidsanalyse Helderse Zeewering per faalmechanisme

Faalmechanisme	Waterveiligheidsoordeel tot 2073?	Toelichting
ZST	Nader te bepalen	Wordt uitgewerkt voor de tweede versie van dit rapport.
AGK	Onvoldoende	Asfalt bekleding Vak 3 (Kaaphoofd) voldoet niet (LBO-1). Restlevensduur WAB overige vakken bij belastingen 2073 is onvoldoende. Bij belastingen 2023 kan WAB nog 10-20 jaar mee. Er is geen acuut gevaar voor de waterveiligheid
ASP	Onvoldoende	Vervorming asfalt kan al in 2023 optreden.
AWO	Voldoende	-
GABU	Voldoende	-
GEBU	Voldoende	-
GEKB	Voldoende	-
GABI	Voldoende	-
STBI	Voldoende	-
STBU	Onvoldoende	Voldoet niet voor het maatgevende profiel. Profiel voldoet tot 2036.
STPH	Voldoende	-
STMI	Voldoende	-
NWO	Nader te bepalen	Wordt uitgewerkt voor de tweede versie van dit rapport.

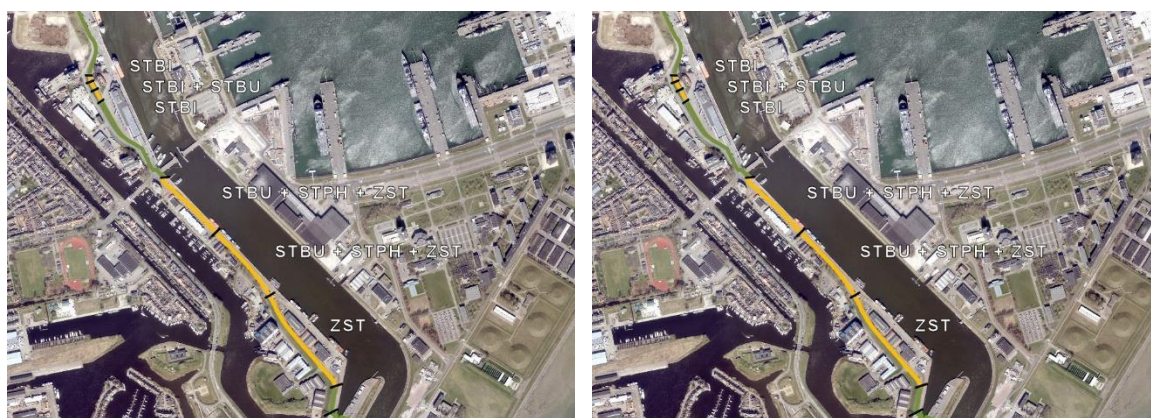
⁴ Als het waterveiligheidsoordeel tot 2073 voldoende is, dan het oordeel ook voldoende in 2023.



Voor bijna alle beschouwde faalmechanismen wordt tot 2073 voldaan aan de ondergrens en is het waterveiligheidsoordeel dus voldoende. Uitzonderingen zijn de faalmechanismen AGK, ASP en STBU. Het faalmechanisme ASP vereist directe aanpak. Voor het faalmechanisme STBU wordt tot 2036 aan de ondergrens voldaan en is er op korte termijn geen waterveiligheidsopgave.

6.2 Havendijk

In Figuur 8 zijn de conclusies van de in H5 beschreven faalmechanismen samengevat weergegeven.



Figuur 8: Waterveiligheidsoordeel samengevat voor alle faalmechanismen voor de Havendijk tot 2023 (rechts) en tot 2073 (links). Groen is voldoende en oranje is onvoldoende.

6.2.1 Visafslag

In Tabel 5 is voor de verschillende beschouwde faalmechanismen weergegeven of voor sectie Visafslag van het deeltraject Havendijk tot 2073 op doorsnedeniveau wordt voldaan aan de ondergrens.

Tabel 5: Resultaten Nadere Veiligheidsanalyse Visafslag per faalmechanisme.

Faalmechanisme	Waterveiligheidsoordeel tot 2073?	Toelichting
ZST	N.v.t.	Het faalmechanisme is niet beschouwd omdat in deze sectie geen steenstelling op het buitentalud aanwezig is.
AGK	N.v.t.	Het faalmechanisme is niet beschouwd omdat in deze sectie geen asfaltbekleding op het buitentalud aanwezig is.
ASP	N.v.t.	Het faalmechanisme is niet beschouwd omdat in deze sectie geen asfaltbekleding op het buitentalud aanwezig is.
AWO	N.v.t.	Het faalmechanisme is niet beschouwd omdat in deze sectie geen asfaltbekleding op het buitentalud aanwezig is.
GABU	Voldoende	-
GEPU	Voldoende	-
GEKB	Nader te bepalen	Wordt uitgewerkt voor de tweede versie van dit rapport.
GABI	Voldoende	-
STBI	Onvoldoende	Dit faalmechanisme is bij LBO-1 als onvoldoende beschouwd voor de belastingen in



		2023. Het oordeel kon niet worden aangescherpt.
STBU	Onvoldoende	Dit faalmechanisme is bij LBO-1 voor sectie I als onvoldoende beschouwd voor de belastingen in 2023. Het oordeel kon niet worden aangescherpt. Voor sectie I en III geldt dat ook tot 2073 wordt voldaan aan de norm.
STPH	Voldoende	-
STMI	Voldoende	-
NWO	Nader te bepalen	Wordt uitgewerkt voor de tweede versie van dit rapport.

Voor de sectie Visafslag wordt voor alleen voor de faalmechanismen STBI en STBU tot 2073 niet voldaan aan de ondergrens en is er dus een waterveiligheidsopgave. Voor de overige beschouwde faalmechanismen wordt tot 2073 geen opgave verwacht.

6.2.2 Paleiskade

Voor de sectie Paleiskade was in LBO-1 het waterveiligheidsoordeel voor STBU onvoldoende. Bij de voor het faalmechanisme STBU uitgevoerde nadere veiligheidsanalyse is gebleken dat dit oordeel aangescherpt kan worden en er in 2023 voor dit faalmechanisme geen opgave is. Voor deze sectie is verder dan ook niet nagegaan of er tot 2073 een opgave te verwachten is.

6.2.3 Het Nieuwe Diep

Hoewel voor de sectie Het Nieuwe Diep (I en II) de faalmechanismen ZST en STBU in LBO-1 de score onvoldoende kregen is voor deze sectie geen nadere veiligheidsanalyse uitgevoerd. In combinatie met de beoogde meekoppelkansen (naar buiten plaatsen kade en vervangen talud door een verticale wand) zal versterkingen van deze sectie een (positief) effect hebben ten aanzien van bijvoorbeeld de hoogte van de dijk. Voor de andere faalmechanismen is daarom niet nagegaan of er tot 2073 nog een extra opgave is te verwachten. De faalmechanismen STPH en NWO zullen nog verder onderzocht worden. Deze resultaten zullen worden opgenomen in de tweede versie van dit rapport.

6.2.4 Het Nieuwe werk

Hoewel voor de sectie Het Nieuwe Werk het faalmechanisme ZST in LBO-1 de score onvoldoende kreeg is voor deze sectie geen nadere veiligheidsanalyse uitgevoerd. Reden hiervoor is dat het opzetten van een nieuw golfmodel duur en tijdrovend is en het geen volledig uitsluitsel zal geven ten aanzien van de veiligheidsanalyse. Daarentegen is een eenvoudige ontwerpaanpassing in de vorm van een teenvoorziening relatief goedkoop en toekomstbestendig. Gezien de eenvoudige ontwerpaanpassing zijn de overige faalmechanismen voor deze sectie niet in beeld gebracht.



7 BIJLAGEN

- A. Helderse Zeewering - Stabiliteit steenzetting (ZST);
Corsanummer: [23.0947027](#)
- B. Helderse Zeewering - Bezijken asfaltbekleding ten gevolge van golfklappen (AGK);
Corsanummer: [23.0947028](#)
- C. Helderse Zeewering - Bezijken asfaltbekleding door ontstaan S-profiel (ASP);
Corsanummer: [23.0947031](#)
- D. Helderse Zeewering - Bezijken asfaltbekleding ten gevolge van wateroverdrukken (AWO);
Corsanummer: [23.0947044](#)
- E. Helderse Zeewering - Grasbekleding afschuiven buitentalud (GABU);
Corsanummer: [23.0876532](#)
- F. Helderse Zeewering - Grasbekleding erosie buitentalud (GEBU);
Corsanummer: [23.0876535](#)
- G. Helderse Zeewering - Grasbekleding erosie kruin en binnentalud (GEKB);
Corsanummer: [23.0876531](#)
- H. Helderse Zeewering - Grasbekleding afschuiven binnentalud (GABI);
Corsanummer: [23.0876538](#)
- I. Helderse Zeewering - Macrostabiliteit binnenwaarts (STBI);
Corsanummer: [23.0320028](#)
- J. Helderse Zeewering - Macrostabiliteit buitenwaarts (STBU);
Corsanummer: [23.0876585](#)
- K. Helderse Zeewering - Piping en heave (STPH);
Corsanummer: [23.0897357](#)
- L. Eenvoudige beoordeling - Microstabiliteit (STMI);
Corsanummer: [23.0903787](#)
- M. Gedetailleerde beoordeling - Microstabiliteit (STMI);
Corsanummer: [23.0903780](#)
- N. Havendijk - Faalmechanismen bekledingen (ZST, AGK, AWO, GEBU, GABU, GEKB, GABI);
Corsanummer: [23.0947046](#)
- O. Havendijk - Macrostabiliteit binnenwaarts (STBI);
Corsanummer: [23.0887819](#)
- P. Havendijk - Macrostabiliteit buitenwaarts (STBU);
Corsanummer: [23.0876741](#)
- Q. Havendijk - Piping en heave (STPH);
Corsanummer: [23.0897358](#)