

NOTITIE

Onderwerp	Onderbouwing en duiding versterkingsopgave
Project	Planuitwerking dijkversterking Den Oever-Den Helder
Opdrachtgever	Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier
Projectcode	138945
Status	Definitief
Datum	6 december 2024
Referentie	138945/24-018.014
Auteur(s)	L. Westrik MSc

Gecontroleerd door	Ir. R. de Boer
Goedgekeurd door	C. van Mastrigt MSc
Paraaf	

Bijlage(n)	I Overzicht versterkingsopgave
------------	--------------------------------

Aan	Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier (HHNK)	T. Rus, J. Kottier, S. de Haas, R. Huisman, K. Klein, K. Mouthaan, B. Mussche, R. Mom, T. Zonneveld
Kopie	Witteveen+Bos (W+B)	C. van Mastrigt, R. de Boer, C. Sedee

1 INLEIDING

1.1 Aanleiding

De dijken tussen Den Oever en Den Helder (normtraject 13-5 en 12-1) voldoen niet aan de wettelijke normen voor waterveiligheid. Deze dijktrajecten worden versterkt binnen het landelijke hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP) in het dijkversterkingsproject Den Oever-Den Helder.

Vanuit de verkenning is er een versterkingsopgave voor macrostabiliteit binnenwaarts (STBI), graserosie buitentalud (GEBU), stabiliteit steenzetting (ZST), asfalt golfklappen (AGK) en asfalt wateroverdrukken (AWO). De opgave voor de bekleding is versnipperd en ook de urgentie van versterken loopt uitéén. Een gedeelte van de dijk voldoet niet aan de ondergrens in 2023, terwijl andere delen wel voldoen aan de ondergrens in 2023, maar niet meer in 2073 (versterken is naar verwachting binnen 50 jaar nodig). Vanwege de versnipperde opgave en urgentieverschillen is binnen de planuitwerking een adaptief versterken aanpak gehanteerd. Als de dijk niet voldoet aan de ondergrens in 2023, dan wordt deze direct versterkt (spoor 1). Delen van de dijk met faalmechanismen die nog een restlevensduur hebben komen mogelijk in aanmerking voor adaptief versterken (spoor 2). De potentie om versterking uit te stellen hangt onder andere af van de restlevensduur, locatie en aan/afwezigheid van aanliggende dijkvakken met een versterkingsopgave.

Nieuwe ontwikkelingen en inzichten zijn aanleiding geweest voor uitvoering van enkele aanvullende technische onderzoeken tijdens de planuitwerking. De resultaten van deze onderzoeken leiden tot een wijziging van de vastgestelde versterkingsopgave ten aanzien van de verkenningsfase. Naast scopewijziging is binnen de planuitwerking ook een wijziging aan het vastgestelde voorkeursalternatief (VKA) van de verkenning doorgevoerd. Om de stabiliteitsopgave op de Balgzanddijk op te lossen gaat het VKA uit van het toepassen van een steenbestorting op de binnentoeën. Uit een technische analyse en verdere detaillering van het VKA van de Balgzanddijk blijkt dat binnen de toleranties van het VKA, de stabiliteitsopgave niet opgelost kan worden. Om te voldoen aan de eisen voor macrostabiliteit is een dikkere laag steenbestorting nodig of zijn aanvullende tijdelijke maatregelen nodig, zoals een voorbelasting. Echter, de impact van deze maatregelen op met name het watersysteem (doorstroomprofiel en waterbergend vermogen) is aanzienlijk en het mitigeren van deze impact is potentieel kostbaar en complex. Daardoor zijn twijfels ontstaan of een oplossing met als basis steenbestorting nog wel de meest sobere en doelmatige oplossing is voor de dijkversterking van de Balgzanddijk. Om deze reden is gekozen om zeef 2 van de verkenningsfase opnieuw te doorlopen voor de Balgzanddijk en de onderzochte kansrijke alternatieven nogmaals met elkaar te vergelijken en af te wegen. De uitkomst van de zeefanalyse is een langsconstructie als oplossing om het stabiliteitsprobleem op te lossen.

Voor de andere dijktrajecten en faalmechanismen (de Amsteldiepdijk en de Wieringerzeewering) is er geen aanleiding om het VKA opnieuw te beschouwen. De gekozen ontwerp oplossingen voor de andere faalmechanismen is in de planuitwerking uitgewerkt tot definitief ontwerp.

1.2 Doel

Voorliggende memo heeft als doel aan te tonen dat de versterkingsopgave in de planuitwerking doelmatig tot stand is gekomen. Dit wordt aangetoond door de aanpak, totstandkoming en de duiding van de versterkingsopgave toe te lichten. Tijdens de planuitwerking zijn verschillende onderzoeken en analyses uitgevoerd die invloed hebben op de versterkingsopgave. Dit heeft betrekking op alle onderzoeken met impact op faalmechanismen die zijn uitgevoerd in de fase tussen de verkenning (2019-2021) en in de planuitwerking (vanaf eind 2021). Voor ieder onderzoek wordt de methodiek en interpretatie van de resultaten besproken om inzicht te geven in de gemaakte keuzes, de logica achter de keuzes, de samenhang van de onderzoeken en de impact hiervan op de versterkingsopgave.

Er is ook aandacht voor het vermijden van opeenstapeling van onzekerheden en het identificeren van mogelijke kantelpunten in de beoordeling. Deze kantelpunten kunnen bepalend zijn voor goedkeuring of afkeuring van een dijkvak bij kleine wijzigingen van uitgangspunten. Door deze aspecten duidelijk toe te lichten, biedt de memo inzicht in de samenhang en doelmatigheid van de versterkingsopgave.

1.3 Leeswijzer

Hoofdstuk 2 behandelt per faalmechanisme de totstandkoming van de versterkingsopgave. Hiervoor worden de resultaten van de onderzoeken en beoordelingen behandeld. Tot slot wordt de afweging en duiding van versterkingsopgave toegelicht. In hoofdstuk 3 volgt een algemene conclusie.

2 TOTSTANDKOMING VERSTERKINGSSOPGAVE PER FAALMECHANISME

Dit hoofdstuk geeft per faalmechanisme een feitelijk overzicht van de technische onderzoeken die zijn uitgevoerd sinds de afronding van de verkenningsfase en impact hebben op de versterkingsopgave. De onderzoeken worden per faalmechanisme in chronologische volgorde behandeld. Sommige onderzoeken zorgen voor een verkleining van de scope, maar er zijn ook onderzoeken die leiden tot een vergroting van de scope. Naast de technisch onderzoeken is per faalmechanisme een overzicht gegeven van de gehanteerde uitgangspunten voor de beoordeling.

De uitgangspunten geven inzicht in de totstandkoming van de versterkingsopgave en de doelmatigheid. Tot slot wordt per faalmechanisme de uiteindelijke versterkingsopgave gegeven met een duiding om de doelmatigheid van de opgave aan te tonen

Tijdens de technische onderzoeken is altijd gekeken naar de mogelijke impact op alle faalmechanismen. Vaak kan kwalitatief geconcludeerd worden dat een bepaald onderzoek geen impact heeft op overige faalmechanismen. In het geval impact niet kan worden uitgesloten is een aanvullende analyse gedaan om de impact te bepalen of uit te sluiten. Voorliggende notitie beperkt zich tot de faalmechanismen waarop de onderzoeken en analyses impact hebben en de faalmechanismen met een opgave. Dit zijn: ASP, ZST, GEBU, STBI en AGK. De faalmechanismen zonder opgave (STPH, STBU, GABU, GEKB en GABI) zijn buiten beschouwing gelaten in deze memo.

2.1 Bezwijken asfaltbekleding door ontstaan S-profiel door golfterugtrekking (ASP)

Aan het begin van de planuitwerking had het mechanisme ASP nog geen officiële status. Deltares heeft in 2018 onderzoek gedaan naar de stabiliteit van asfalt onder golfaanval bij een hoge freatische lijn in de dijk. De resultaten zijn gepubliceerd in de rapportage stabiliteit van oud asfalt onder golfaanval ([ref. 19]) en heeft uiteindelijk geleid tot toevoeging van het faalmechanisme in het BOI. De versterkingsopgave voor de asfaltbekleding vanuit de verkenning heeft betrekking op het mechanisme AWO vanwege een hoge freatische lijn in de dijk. De mechanismen ASP en AWO hebben beide betrekking op wateroverdrukken op de asfaltbekleding, echter verschilt de wijze waarop de asfaltbekleding bezwijkt. ASP en AWO kunnen alleen optreden als de freatische lijn tot boven de onderrand van de asfaltbekleding reikt. Voor ASP wordt gecontroleerd of bij de maatgevende belasting een S-profiel kan ontstaan, wat tot bezwijken van de asfaltbekleding kan leiden. Bij AWO wordt nagegaan of de asfaltbekleding voldoende dik is om weerstand te bieden tegen de bij een snelle val van de buitenwaterstand ontstane wateroverdrukken. Dit is meestal aan het einde van de storm.

Binnen de planuitwerking is aanvullend een beoordeling voor het mechanisme ASP uitgevoerd. De versterkingsopgave voor ASP is aan het begin van de planuitwerking bepaald met de rekenwaarden van de freatische lijn die volgen uit de verkenning. Omdat er binnen de planuitwerking verschillende onderzoeken zijn uitgevoerd die impact hebben op de beoordeling van het mechanisme is de versterkingsopgave voor ASP toegenomen.

2.1.1 Onderzoeken en impact op versterkingsopgave

Binnen de planuitwerking zijn verschillende technische onderzoeken uitgevoerd die impact hebben op de versterkingsopgave voor ASP. In voorliggende paragraaf worden de aanpak en conclusies van de onderzoeken samengevat.

Geohydrologische analyse

De freatische lijn (grondwaterstand) in de dijk is een belangrijk uitgangspunt voor het ontwerp van de dijkversterking. In de verkenning zijn verschillende grondwaterstromingsmodellen in PlaxFlow (hierna PlaxFlow-model(len)) gemaakt, waarmee de freatische lijn is afgeleid ('Rapportage nader onderzoek DODH' uit 2019 [ref. 12]).

Aanleiding analyse

Sinds de verkenning is de met de modellen verkregen freatische lijn in overleg met meerdere specialisten nader beschouwd. Dit heeft geleid tot nieuwe inzichten en een aanvullende analyse op de bestaande PlaxFlow-modellen die in de verkenning is opgesteld. De conclusies van deze analyse zijn samengevat in de notitie 'Freatische Lijn DODH bevindingen' [ref. 13]. Op basis van deze analyse is er onvoldoende vertrouwen in de tijdens de verkenning berekende freatische lijn. Om vertrouwen te krijgen in de te hanteren freatische lijn voor het dijkontwerp is een nieuwe geohydrologische modelstudie uitgevoerd. Tijdens deze studie zijn alle beschikbare PlaxFlow-modellen opnieuw bekeken en waar nodig opnieuw gekalibreerd.

De analyse van de oude modellen, wijzigingen aan de modellen en opnieuw afgeleide rekenwaarden van de freatische lijn zijn opgenomen in de rapportage 'Geohydrologische analyse' [ref. 14]. Voor het opstellen van de nieuwe modellen is een intensief traject gevolgd met meerdere expert- en reviewsessies waar onder andere Deltares en het Adviesteam Dijkontwerp (ADO) bij betrokken waren. Aangezien de freatische lijn zeer bepalend is voor de beoordeling op ASP is een uitgebreide samenvatting inclusief onderbouwing van de keuzes opgenomen in voorliggende paragraaf. Voor de volledige analyse wordt verwezen naar [ref. 14].

Samenvatting analyse

De freatische lijn is bepaald op basis van in totaal 11 raaien met peilbuizen die in de verkenning op de dijk zijn geplaatst, zie afbeelding 2.1. Per raai zijn meerdere peilbuizen in de dijk geplaatst (buitenteen, buitentalud, kruin). De peilbuismetingen zijn voor een langere periode uitgevoerd en tijdens de meetperiode is een significante storm gemeten met een hoge waterstand (januari 2019). De maximaal gemeten buitenwaterstand tijdens deze storm was NAP +2,54 m ter plaatse van raai 9. Ter vergelijking: de waterstand bij norm bij de ondergrens (1/1000 per jaar) voor zichtjaar 2023 is bij raai 9 gelijk aan NAP +4,62 m.

Afbeelding 2.1 Locatie peilbuisraaien DODH



In de PlaxFlow-modellen van de verkenning zat een aantal uitgangspunten/aannames die zijn herzien. De belangrijkste bevindingen die aanleiding hebben gegeven voor het uitvoeren van een aanvullende geohydrologische analyse zijn:

- het buitentalud (inclusief de steenzetting onder de asfaltbekleding) is in alle raaien als volledig ondoorlatend gemodelleerd. Dit komt niet overeen met de aanwezige steenzettingen (basalt of basaltzuilen op een doorlatende laag van slakken, baksteenpuin of zandasfalt). Vanwege de ondoorlatende steenzetting in het model, heeft water tijdens hoogwater meer weerstand om de dijk in te stromen, hetgeen zorgt voor een onrealistische weergave van de werkelijkheid die leidt tot een lagere freatische lijn. De hoogte van de freatische lijn wordt daarbij onderschat (te optimistisch);
- in de verkenning is alleen voor raai 1, 6, 7, en raai 9 een PlaxFlow-model opgesteld. Voor de overige raaien is de freatische lijn bepaald op basis van de modellen van raai 1, 6, 7 en 9 en is deze lijn vervolgens gecorrigeerd voor de maatgevende waterstand en de resultaten van het per raai beschikbare peilbuisonderzoek. De koppeling van de raaien is gemaakt met de onderbouwing van vergelijkbare bodemopbouw en response tijdens hoogwater in de peilbuizen. Een nadere analyse van de bodemopbouw, response van de peilbuizen, geometrie en bekledingseigenschappen leert dat de

gehanteerde koppelingen niet altijd verklaarbaar zijn. Zo blijkt de koppeling van raai 4 aan het PlaxFlow-model van raai 6 met onderbouwing van vergelijkbare bodemopbouw en response in de peilbuizen niet terecht;

- de fit op de gemeten response in de peilbuizen van het in de verkenning opgestelde PlaxFlow-model voor raai 6 is niet logisch. In het model zakt de freatische lijn na hoogwater veel sneller dan in de peilbuizen. Daarnaast is er geen voorland gemodelleerd. De freatische opbolling in de dijk die ontstaat door het lange voorland is gemodelleerd door de waterstand kunstmatig op NAP +1,4 m te houden. Hiervoor is de buitenwaterstand afgekapt op een minimale waarde van NAP +1,4 m;
- de schematisatie van het buitentalud in het Plaxflow-model voor raai 9 is niet te vertrouwen, omdat het buitentalud volledig als asfalt is gemodelleerd en er ter plaatse van de buitenteen een spleet tussen het asfalt en keileem is gemodelleerd;
- op de rekenwaarde van de freatische lijn is in de verkenning een onzekerheidstoeslag van 0,1 m meegenomen. Deze factor is bepaald op basis van twee scenario's waarbij de freatische lijn 1 m hoger ligt, waarbij is gerekend met een kans van optreden van <1 %. De onzekerheidstoeslag is vervolgens bepaald door 10 % van 1 m te nemen. Deze argumenten voor deze redenatie ontbreken;
- de keuze voor de begrenzing van de peilbuisraaien is niet onderbouwd en herleidbaar.

De bevindingen zijn besproken tijdens een van de expertsessies waarin de volgende besluiten zijn genomen [ref. 16]:

- kalibreer raai 1 opnieuw (omdat de schematisatie van het buitentalud een onrealistisch beeld geeft van de werkelijkheid en naar verwachting te gunstig is voor de berekende freatische lijn in de dijk);
- zet voor raai 4 een nieuw model op (omdat de projectie van raai 6 op raai 4 niet goed onderbouwd is);
- kalibreer raai 6 opnieuw (omdat de fit van de freatische lijn niet goed overeenkomt met de response van de peilbuismetingen);
- kalibreer raai 9 opnieuw (omdat de schematisatie van het buitentalud door de modellering niet te vertrouwen is);
- bepaal op basis van de onzekerheden per raai de veiligheidsfilosofie (omgang met onzekerheden) opnieuw in samenspraak met verschillende experts (omdat de in de verkenningfase gebruikte filosofie te kort door de bocht is).

(Her)kalibratie raaien 1, 4, 6 en 9

Voor de (her)kalibratie van de raaien zijn gevoeligheden onderzocht die impact hebben op de fit van de berekende freatische lijn ten aanzien van de gemeten response. De volgende gevoeligheden zijn onderzocht: de lengte van het voorland, de doorlatendheid van de zandkern, de doorlatendheid van de steenzetting en de grondopbouw. Door de modellen opnieuw te kalibreren is de fit van de freatische lijn uit het model met de response van de peilbuismetingen tijdens hoogwater significant verbeterd.

Omgang met onzekerheden

In de verkenning zijn de rekenwaarden voor de freatische lijn bepaald aan de hand van onzekerheidstoeslagen die niet logisch onderbouwd zijn. Binnen de geohydrologische analyse is er veel aandacht geweest voor de omgang met onzekerheden. De onzekerheid van de freatische lijn kent verschillende oorzaken. In lijn met het advies van ADO [ref. 18] zijn ten behoeve een veilige rekenwaarde van de freatische lijn de onzekerheden systematisch in kaart gebracht (het niveau van de freatische lijn is tijdens maatgevende omstandigheden immers een van de belangrijkste parameters in de rekenregel voor ASP). De onzekerheden zijn expliciet gemaakt door aan te geven hoe de onzekerheden zich verhouden tot de response van de freatische lijn. Zo is er onzekerheid over de ondergrondcondities van de locaties tussen de meetraaien in. Het is hierbij van belang om op basis van geohydrologische kenmerken een vakindeling te maken en op basis daarvan de verschillende meet- en analysesresultaten te duiden. Door deze onzekerheden systematisch te duiden wordt een onderbouwde rekenwaarde van de freatische lijn verkregen, hetgeen leidt tot de juiste invoerparameters in de rekenregel voor ASP.

De volgende onzekerheden zijn tijdens de analyse geïdentificeerd:

- 1 **kalibratie en afleiding freatische lijn.** Er is niet voor elke meetraai een PlaxFlow-model opgezet. Raaien waarvoor geen model is opgesteld zijn afgeleid van raaien waarvoor wel een model is opgesteld. De koppeling is onderbouwd op basis van de response en bodemopbouw. Toch blijven er onzekerheden over de ondergrondcondities tussen de locaties van de meetraaien. Deze onzekerheid is afkomstig van natuurlijke variaties in de ondergrond en variaties in aangebracht materiaal. Langs het dijktraject variëren de granulaire onderlagen onder de steenzetting (zandasfalt, grauwas, staalslakken en baksteenpuin), en daarmee ook de doorlatendheid van het buitentalud;
- 2 **doorlatendheid buitentalud.** De doorlatendheid van het buitentalud is lastig te meten. Daarnaast zal de doorlatendheid van de steenzetting anders zijn bij een onderlaag van slakken dan bij een onderlaag van zandasfalt. Hieronder vallen ook onzekerheden met betrekking tot de extrapolatie van de freatische lijn naar waterstanden die niet eerder zijn waargenomen. Naarmate de buitenwaterstand hoger wordt neemt deze onzekerheid toe. De doorlatendheid hoger op het talud kan namelijk anders zijn, vanwege bijvoorbeeld scheuren of overgangen;
- 3 **onzekerheid na kalibratie en/of WBN berekening.** Het is mogelijk dat na kalibratie nog een bepaalde mate van onzekerheid aanwezig is door bijvoorbeeld missende uitgangspunten of onzekerheden in de modellering van de geometrie;
- 4 **ontbrekende gegevens.** Ondanks dat er veel gegevens beschikbaar zijn, is de dichtheid van het grondonderzoek op sommige locaties minder groot dan gewenst. Hierdoor kan de bodemopbouw in minder detail bepaald worden. Daarnaast zijn er ontbrekende peilbuisgegevens. Bovendien bevatten de meetresultaten van raai 11 meetfouten en kunnen niet gebruikt worden voor de analyse.

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

- voor alle raaien met peilbuismetingen is een zo goed mogelijke modelkalibratie opgesteld;
- de resultaten uit het model worden geëxtrapoleerd naar een hoogwater situatie voor het desbetreffende zichtjaar (2023 voor beoordeling, 2073 voor ontwerp);
- op de verkregen resultaten wordt een onzekerheidstoeslag toegepast. Dit is een praktische omgang met onzekerheid per locatie en is gebaseerd op een variatiestudie waar een bandbreedte voor de onzekerheden uit komt;
- de variatiestudie leidt uiteindelijk tot een goede onderbouwing van de toegepaste onzekerheidstoeslag per raai;
- de raaiavakken zijn zo ingedeeld dat de freatische lijn wordt toegepast voor de hele raai (op basis van het maximale niveau van de freatische lijn van de aangrenzende raai). Aan de begrenzing zit een geotechnische onderbouwing aan ten grondslag. Het grondonderzoek en rekenresultaten van de PlaxFlow-modellen zijn bekeken om de grenzen te duiden.

Voor het bepalen van de rekenwaarde van de freatische lijn is een toeslag gehanteerd op de berekende freatische lijnen. In de analyse is ervoor gekozen de hoogte van de toeslag per raai te laten afhangen van de mate van onzekerheid die in de uitgangspunten en de modellering zit. In de analyse zijn vier onzekerheden geïdentificeerd. Hieronder is per onzekerheid de mate van onzekerheid per raai bepaald en hier een toeslag aan toegekend. De hoogte van de toeslag per raai en per onzekerheid is bepaald op basis van gevoeligheidsanalyses en op basis van expert judgement en wordt opgeteld bij de berekende freatische lijn bij een hoogwater optredend bij een buitenwaterstand met een terugkeertijd gelijk aan de norm (ondergrens).

- 1 **kalibratie en berekening freatische lijn bij norm.** Tijdens de analyse zijn vier raaien gekalibreerd en op basis van het gekalibreerde PlaxFlow-model is de freatische lijn in de dijk bij de norm berekend. Deze vier raaien zijn vervolgens gebruikt om de freatische lijn in de dijk bij norm af te leiden voor de overige raaien. Er zit een grotere mate van onzekerheid in de afgeleide raaien ten opzichte van de gekalibreerde raaien. Daarom wordt voor de afgeleide raaien een hogere onzekerheidstoeslag toegekend dan de gekalibreerde raaien. Gekalibreerde raaien: onzekerheidstoeslag 0,05 m, afgeleide raaien: onzekerheidstoeslag 0,20 m;

- 2 **doorlatendheid talud.** De doorlatendheid van het talud heeft een grote invloed op de freatische lijn in de dijk. De onzekerheid zit in het deel van het buitentalud tussen de maximale waterstand bij de storm van 2019 (gebruikt voor kalibratie raaien) en de maximale waterstand bij de norm. Omdat de asfaltbekleding ondoorlatend is zit de onzekerheid in het deel van de steenzetting dat niet onder water is komen te staan tijdens januari 2019 storm en waarvan de doorlatendheid dus niet gekalibreerd kon worden. Op raai 1 na zijn de onderlinge verschillen per raai dermate klein dat hier geen onderscheid in gemaakt is.
 - Raai 1: door de aanwezigheid van een oude kleibekleding tot de teen is er een mate van onzekerheid in het effect op de kalibratie en de freatische lijn in de dijk bij normcondities. Op basis van de uitgevoerde gevoeligheidsberekeningen op de doorlatendheid van de steenzetting is een toeslag van 0,40 m toegepast;
 - overige raaien: op basis van de gevoeligheidsanalyses is een toeslag van 0,10 m toegepast.
- 3 **onzekerheid na kalibratie en/of WBN berekening.** Indien na de kalibratie nog een bepaalde mate van onzekerheid aanwezig is door bijvoorbeeld missende uitgangspunten of onzekerheden in de modellering van de geometrie wordt hieraan een extra toeslag toegekend. Het gaat om:
 - Raai 3: de onderrand van het asfalt ligt ongeveer 1,5 m hoger. Het doorlatende oppervlak van het zetsteen is daardoor groter dan bij raai 1 en 2, waardoor er meer water de dijk in kan stromen. Voor deze onzekerheid wordt een toeslag van 0,20 m aangehouden op basis van expert judgement.
- 4 **ontbrekende gegevens.** Van raai 11 zijn geen bruikbare peilbuisgegevens beschikbaar. Echter vormen de peilbuismetingen de basis voor de kalibraties en voor de projectie op andere raaien. Bij het ontbreken van deze gegevens is de onzekerheid op de afgeleide freatische lijn in de dijk relatief groot:
 - voor raai 11 is voor deze onzekerheid 0,30 m toeslag aangehouden op basis van expert judgement.

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

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

De opbouw van de onzekerheidstoeslagen per raai is samengevat in tabel 2.1.

Tabel 2.1 Onzekerheidstoeslagen per categorie

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

Rekenwaarden freatische lijn en begrenzing raaien

De rekenwaarde van de freatische lijn is vastgesteld door het gekalibreerde Plaxflowmodel en onzekerheidsmarge bij elkaar op te tellen. Daarnaast is ook gekeken naar de begrenzing van de raaien. In de verkenning is niet onderbouwd waar de begrenzing van de raaien op gebaseerd is. Tijdens de geohydrologische analyse is daarom gekeken of de originele begrenzing van de raaien logisch en verklaarbaar is of aangepast moeten worden. Binnen de geohydrologische analyse is een aangepaste indeling gehanteerd op basis van onderstaande onderbouwing:

- het niveau van de freatische lijn is bepaald per raai. Als basis geldt dat het niveau van het tussenliggende tracé gelijk is aan de maatgevende aansluitende raai;

- uitzondering hierop is raai 4, dit blijkt een overgangsgebied te zijn van een lage freatische lijn aan de westzijde naar een hoge freatische lijn aan de oostzijde. Daarom wordt voorgesteld het niveau van de freatische lijn te laten verlopen tussen raai 3 en raai 4 (DP8.2 tot DP9.2). Dit voorkomt ook een onrealistische grote sprong. Het verloop van de freatische lijn tussen raai 3 en 4 wordt later in deze paragraaf nader toegelicht op basis van de fysische eigenschappen van de dijk;
- op basis van de geotechnische lengteprofielen van het gehele tracé is gekeken naar de raaignrenzen. Van raai 1 t/m raai 7 is de bodemopbouw vergelijkbaar, een dijk kern van zand met daaronder een 4 à 5 m dikke kleilaag. Na de Amsteldiepdijk, tussen raai 7 en raai 8 t.p.v. DP15.0, bestaat de ondergrond vanaf maaiveld uit keileem, de laagdikte is variabel. De bodemopbouw is globaal te verdelen in twee typen, met een zand ondergrond op een kleilaag (westzijde) en keileem vanaf het maaiveld (oostzijde);
- er is een sprong aanwezig van ongeveer 1 m in het niveau onderrand asfalt ter plaatse van DP 6.96, tussen raai 2 en raai 3;
- tussen de raaien is geen duidelijke overgang van zetsteenconstructie gevonden in de oude bestekstekeningen. Daarnaast zit de variatie vooral in de onderlagen van de steenzettingen. Er zijn relatief weinig dwarsprofielen beschikbaar, maar door het veldonderzoek naar de steenzettingen zijn de overgangen in meer detail bepaald.

De vastgestelde raaignrenzen en rekenwaarden voor het maximale niveau van de freatische lijn zijn opgenomen in tabel 2.2. Om beter gevoel te krijgen bij de vastgestelde rekenwaarden is per raai ook een kolom met de maximale freatische lijn die gemeten tijdens het hoogwater van januari 2019 en ook de respons (verschil tussen de freatische lijn onder dagelijkse omstandigheden en freatische lijn tijdens hoogwater) is opgenomen.

Tabel 2.2 Overzicht raaignrenzen, waterstanden en rekenwaarden voor de freatische lijn (inclusief onzekerheidstoelagen) per dijktracé

Raaignrenzen (dijkpalen)	Dijktracé	Maatgevende raai	Rekenwaarde freatische lijn 2073 [m NAP]	WBN 2073 [m NAP]	Max. gemeten freatische lijn peilbuis januari storm 2019 [m NAP]	Toelichting
DP4.60 - DP6.27	BZD	1 (model)	+2,82	4,61	0,22	peilbuismeting laat response (verschil freatische lijn onder dagelijkse omstandigheden en maximale freatische lijn tijdens hoogwater) zien van circa 0,15 m
DP6.27 - DP6.96	BZD	2 (projectie)	+2,14	4,64	-0,22	peilbuismeting laat nagenoeg geen response op hoogwater zien. Uit grondonderzoek blijkt dat bij raai 2 de kleilaag in het voorland dikker is dan bij raai 1 en 3
DP6.96 - DP8.17	BZD	3 (projectie)	+2,39	4,69	0,26	response peilbuismeting (circa 0,15 m) vergelijkbaar met raai 1
DP8.17 - DP9.18	BZD	3 - 4 (model)	van +2,39 naar +4,0	4,71	1,02	peilbuismeting laat verhoging van de gemeten freatische lijn zien ten aanzien van raai 1, 2 en 3.

Raaigrenzen (dijkpalen)	Dijktracé	Maatgevende raai	Rekenwaarde freatische lijn 2073 [m NAP]	WBN 2073 [m NAP]	Max. gemeten freatische lijn peilbuis januari storm 2019 [m NAP]	Toelichting
						Response van 0,3 m in peilbuismeting van raai 4 op hoogwater. Uit de boringen die zijn genomen in de peilbuizen Ter plaatse van de filters en doorlatendheidsmetingen blijkt dat de grond ter plaatse van het freatisch filter in raai 4 bijna 2 keer zo doorlatend is dan raai 3 [ref. 25]. Daarnaast zijn voor de monsters een korrelgrootteverdeling en een fractieverdeling opgesteld. Uit het onderzoek blijkt dat de bij raai 4 de zandfractie (97 %) een stuk hoger is dan bij raai 3 (81.7 %). Bij raai 3 is er meer silt aanwezig. De grotere rekenwaarde voor de freatische lijn kan hiermee worden verklaard
DP9.18 - DP10.88	BZD	5 (projectie)	+4,0	4,76	1,43	peilbuismeting laat response zien tijdens hoogwater (circa 0,25 m). Doorlatendheid, silt en zandfractie vergelijkbaar
DP10.88 - DP12.50	BZD	6 (model)	+4,05	4,81	1,86	peilbuismeting laat significante response zien tijdens hoogwater. Response van circa 0,4 m tijdens hoogwater
DP12.50 - DP13.85	BZD	7 (projectie)	+4,80	4,84	2,15	peilbuis met de grootst gemeten respons (circa 0,8 m) op hoogwater. De freatische lijn stijgt tijdens hoogwater mee met de buitenwaterstand
DP13.85 - DP15.0	ADD	7 (projectie)	+4,80	4,84	2,15	peilbuis met de grootst gemeten respons (circa 0,8 m) op hoogwater.

Raaigrenzen (dijkpalen)	Dijktracé	Maatgevende raai	Rekenwaarde freatische lijn 2073 [m NAP]	WBN 2073 [m NAP]	Max. gemeten freatische lijn peilbuis januari storm 2019 [m NAP]	Toelichting
						De freatische lijn stijgt tijdens hoogwater mee met de buitenwaterstand. Maximale waterstand tijdens januari 2019 storm: NAP +2,48 t.p.v. raai 7
DP15.0 - DP16.33	WZW	8 (projectie)	+2,22	4,87	0,87	Raai 8 heeft een significant lagere response op hoogwater (circa 0,15 m) dan raai 7. Dit duidt op een wijziging van dijkopbouw (gevalideerd met grondonderzoek)
DP16.33 - DP17.92	WZW	9 (model)	+2,42	4,88	1,34	Raai 9 laat amper een respons (circa 0,05 m) zien tijdens hoogwater. Onder dagelijkse omstandigheden is freatische lijn bij peilbuis ook rond de NAP +1,30 m
DP17.92 - DP21.12	WZW	10 (projectie)	+2,83	4,89	0,99	peilbuis laat duidelijke respons (circa 0,50 m) zien bij hoogwater. Freatische lijn onder dagelijkse omstandigheden circa NAP +0,3 m
DP21,12 - DP25.5	WZW	11 (projectie)	+2,87	4,97	meetfouten	geen bruikbare resultaten i.v.m. meetfouten

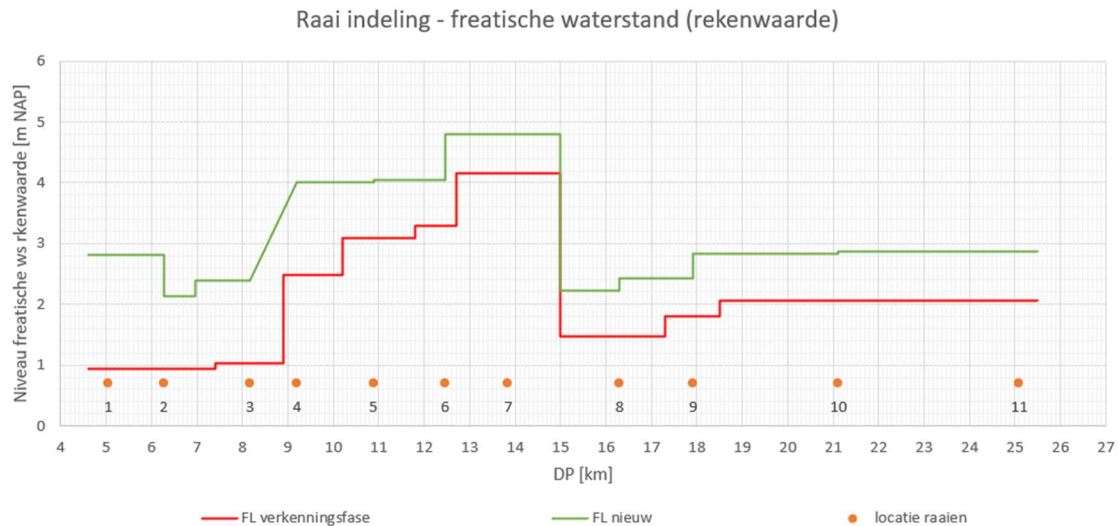
Uit Tabel 2.2 blijkt dat de meetraaien veel variatie laten zien in het niveau van de freatische lijn en de response tijdens hoogwater. De verschillen kunnen worden verklaard aan de hand van de bodemopbouw en locaties van de peilbuizen. Niet alle peilbuizen zijn op dezelfde locatie op het buitentalud gezet en er zit ook verschil in het aantal peilbuizen per raai. Bij raai 3, 4 en 5 is maar één peilbuis gezet hoog op het buitentalud boven de berm, terwijl bij raai 1 en 6 in totaal 4 peilbuizen op verschillende niveaus op het buitentalud zijn gezet. De meting van raai 1 geeft dan ook meer inzicht in het verloop van de freatische lijn in het dijklichaam.

Voor zichtjaar 2023 en 2073 worden verschillen in de rekenwaarde voor het maximale niveau van de freatische lijn berekend. Dit komt door het verschil in zeespiegelstijging. Voor 2073 wordt een zeespiegelstijging van 50 cm voorzien. Het verschil tussen de rekenwaarde in 2023 en 2073 is niet voor iedere raai hetzelfde. Het verschil is tussen de 0,2 m (voor raaien met een lagere rekenwaarde voor de freatische lijn) en 0,47 m (voor raaien met een hoge waarde voor de freatische lijn). Dit verschil is logisch en verklaarbaar.

Voor de raaien die een lagere response op de buitenwaterstand hebben, heeft zeespiegelstijging minder effect dan voor de raaien die een grote response op de buitenwaterstand laten zien. De vastgestelde raai grenzen en rekenwaarden voor de freatische lijn zijn opgenomen in tabel 2.2.

In afbeelding 2.2 zijn de nieuwe rekenwaarden en begrenzingen van de raaien ook grafisch weergegeven voor zichtjaar 2073.

Afbeelding 2.2 Aangepaste raai indeling en bijbehorende freatische lijn (rekenwaarde) bij WBN, zichtjaar 2073



Duiding resultaten

Uit de aanvullende analyse van al het grondonderzoek in de geohydrologische analyse blijkt dat raai 1, 2 en 3 een vergelijkbare bodemopbouw hebben [ref. 14]. De peilbuismetingen van de storm in januari 2019 laten zien dat raai 1 en 3 een vergelijkbare response hebben op hoogwater. Raai 2 laat een kleinere response zien. Bij raai 1 is er een grotere onzekerheid met betrekking tot de doorlatendheid van het talud, dit is meegenomen in de onzekerheidstoets voor de rekenwaarde van de freatische lijn.

In de verkenning zijn de resultaten van raai 6 geprojecteerd op raai 4 en 5. Voor raai 5 is dit verdedigbaar. Voor raai 4 niet, de peilbuismeting van deze raai wijkt duidelijk af van raai 6. Daarom is voor raai 4 een PlaxFlow-model opgezet en gekalibreerd met de beschikbare resultaten van de peilbuismetingen. Uit de analyse blijkt dat de freatische lijn voor raai 4 een stuk hoger ligt dan bij raai 3. Tussen raai 3 (DP8.17) en raai 4 (DP9.18) is gekozen de freatische lijn lineair te laten verlopen. Dit komt doordat er tussen raai 3 en 4 een overgangsgebied zit. Het verschil voor de freatische lijn tussen raai 3 en 4 is groter dan 1,5 m. Dit is niet fysisch verklaarbaar door bijvoorbeeld verschillen in buitenwaterstand of taludbekleding. Het is aannemelijk dat dit komt door een verandering in bodemopbouw, welke naar verwachting geleidelijk verloopt over het traject tussen raai 3 en 4. De freatische lijn zal daardoor ook geleidelijk hoger worden. Dit wordt bevestigd met een analyse van het grondonderzoek, de boringen van de peilbuizen, doorlatendheidsmetingen van grond in filterpeilbuizen en fractie en korrelgrootteverdelingen van de grond [ref. 25]. De doorlatendheidsmetingen en fractieverdeling in het freatisch filter laat een duidelijk verschil tussen raai 3 en 4 zien, die het verschil in de freatische lijn verklaren. Bij raai 4 is de doorlatendheid ongeveer twee keer zo groot als bij raai 3. Bij raai 4 is er bijna geen silt aanwezig (circa 2 %), terwijl bij raai 3 de siltfractie een stuk groter is (circa 13,5 %). Silt is een stuk fijner dan zand en ook minder doorlatend.

De overgang van de Amsteldiepdijk naar de Wieringer Zeewering ligt bij DP14.84. Uit de studie naar de grondopbouw blijkt dat op deze locatie de bodemopbouw ook wijzigt. Dit is verklaarbaar aangezien de Amsteldiepdijk en Wieringer Zeewering niet op hetzelfde moment zijn aangelegd. De grondopbouw bij de Amsteldiepdijk bestaat uit een combinatie van een dijk kern van zand maar daaronder klei.

Het voorland is zandig. Bij de Wieringer Zeewering bestaat de dijk kern uit zand met daaronder keileem. De keileem laag loopt door in het voorland. Hierdoor wordt de zandkern ingesloten door de dijk bekleding en de keileem laag. Dit zorgt ervoor dat water minder makkelijk in de dijk stroomt dan op de Amsteldiepdijk, waar de dijk kern niet is afgesloten van het voorland door een slecht doorlatende laag. Bij hoogwater zal er snel water de dijk instromen via het zandige voorland. De overgang in de bodemopbouw verklaart ook het verschil in de freatische lijn tussen de Amsteldiepdijk en Wieringer Zeewering.

Conclusie geohydrologische analyse

De analyse heeft als gevolg dat de rekenwaarden van de freatische lijn langs het gehele traject hoger zijn geworden. De belangrijkste redenen voor de verhoging zijn de aanvullende kalibraties van de PlaxFlow-modellen die hebben gezorgd voor een betere modelfit van de freatische lijn op de gemeten response in de peilbuizen. Hiervoor zijn de doorlatendheden van bepaalde grondsoorten en de steenzetting aangepast. Daarnaast is in detail gekeken naar de onzekerheden en is geconcludeerd dat de gehanteerde onzekerheidsmarges in de verkenning niet voldoende invulling geven aan de onzekerheden die relevant zijn bij het afleiden van een freatische lijn onder normcondities op basis van een storm met een veel lagere waterstand dan onder normcondities. De nieuw geïntroduceerde onzekerheidsmarges zijn waar mogelijk onderbouwd met gevoeligheidsberekening en waar niet mogelijk op basis van engineering judgement van de betrokken partijen (W+B, HHNK, Deltares en ADO). De verhoging van de freatische lijn heeft een significante impact op de versterkingsopgave voor ASP. In de volgende paragraaf 2.1.2 wordt een duiding aan de opgave gegeven op basis van onder andere de bevindingen uit de geohydrologische analyse.

Consequentieanalyse hydraulische randvoorwaarden

In de vigerende hydraulische database zit een fout met betrekking tot de modelonzekerheidsfactoren voor de golfhoogte- en periode. In de database zijn de modelonzekerheden van de belastingen afgetrokken in plaats van opgeteld. Het beoordelings- en ontwerpinstrumentarium (BOI)-team achter de database is niet voornemens om op korte termijn de fout in de database te herstellen, maar heeft wel een handleiding uitgebracht die beschrijft hoe de fout handmatig hersteld kan worden. Daarnaast wordt op basis van nieuwe inzichten een voorstel gedaan om de correlatiefactor tussen de golfhoogte en periode aan te passen. In de vigerende database is geen correlatie tussen de golfhoogte en periode opgenomen. Door het ontbreken van de correlatie kunnen fysisch onmogelijke combinaties van golfhoogte en periode worden berekend.

W+B heeft de vigerende hydraulische database aangepast om de fouten in de modelonzekerheidsfactoren te herstellen en een correlatiefactor toe te voegen. De methodiek en validatie van de herstelde database staat beschreven in 'Consequentieanalyse hydraulische randvoorwaarden' [ref. 6]. De aanpassingen aan de database zorgt voor een toename van circa 2 % in de golfhoogte en circa 7 % in de golfperiode. Deze toename is vergelijkbaar met in andere onderzoeken gevonden verschillen. Doordat de golfcondities toenemen heeft dit gevolgen voor de beoordeling op het mechanisme ASP. Doordat de golfperiode toeneemt, wordt de golfsteilheid lager. Een lager golfsteilheid zorgt voor een toename van de golfneerloop ($\phi_{min10\%}$). De grotere waarde voor de golfneerloop (belastingkant) zorgt ervoor dat de onderrand van de asfaltbekleding verder opgehoogd dient te worden om te voldoen aan het criterium.

Restlevensduuranalyse

In opvolging van de gewijzigde uitgangspunten die volgen uit de geohydrologische analyse en consequentieanalyse hydraulische randvoorwaarden, is voor de dijkvakken die voldoen aan de ondergrens een restlevensduuranalyse uitgevoerd voor ASP [ref. 20]. Dijkvakken met een beperkte restlevensduur komen mogelijk in aanmerking voor versterking. Dit hangt ook af van andere factoren zoals de locatie van het dijkvak, opgave voor andere faalmechanismen op dezelfde locatie et cetera. De restlevensduuranalyse is uitgevoerd voor de zichtjaren 2035, 2048 en 2073. De restlevensduuranalyse is met de aangepaste rekenwaarden voor de freatische lijn en golfcondities volgend uit de aangepaste hydraulische randvoorwaarden database uitgevoerd.

2.1.2 Afweging en duiding versterkingsopgave

De technische onderzoeken zorgen voor een toename van de versterkingsopgave voor ASP ten aanzien van de start van de planuitwerkingsfase. Deze toename is vooral te verklaren door het gebruik van nieuwe rekenwaarden en begrenzingen van de freatische lijn.

Uitgangspunten beoordeling

Om de versterkingsopgave te onderbouwen en te duiden zijn de gehanteerde uitgangspunten voor de beoordeling van ASP van belang. Voor de beoordeling van ASP is de eenvoudige rekenregel uit [ref. 19] gebruikt. De parameters zijn opgedeeld in sterkte- en belastingparameters. De sterkteparameter zijn opgenomen in Tabel 2.3, de belastingparameters zijn opgenomen in Tabel 2.4.

Tabel 2.3 Gehanteerde sterkteparameters voor beoordeling

Parameter	Bron	Toelichting
dikte asfaltbekleding	restlevensduurbepaling asfalt Waddenzeedijk Den Oever-Den Helder [ref. 1]	bepaald op basis van valgewicht deflectiemetingen (VGD). De maatgevende VGD-meting (kleinste laagdikte) binnen een dijkvak is gebruikt voor de dikte van de asfaltbekleding van het desbetreffende dijkvak. Er is geen rekening gehouden met de verdikking (asfaltwig) bij de onderrand van de asfaltbekleding (Asfaltwig alleen aanwezig op Wieringer Zeewering)
soortelijk gewicht asfaltbekleding	restlevensduurbepaling asfalt Waddenzeedijk Den Oever-Den Helder [ref. 1]	het soortelijk gewicht van de boorkern die het dichtst bij het desbetreffende dijkvak ligt, is gehanteerd in de berekening
niveau onderrand asfaltbekleding	WBI-beoordeling normtraject 12-1 en 13-5 Digital Terrain Model- meting (DTM-meting)	indien beschikbaar is de DTM-meting gehanteerd. Op locaties waar geen DTM-data beschikbaar is, zijn de gegevens uit de WBI-beoordeling gebruikt
taludhelling	WBI-beoordeling normtraject 12-1 en 13-5	de taludhellingen zijn overgenomen uit de WBI-beoordeling, waarbij de helling van het steilste taluddeel van de asfaltbekleding is meegenomen

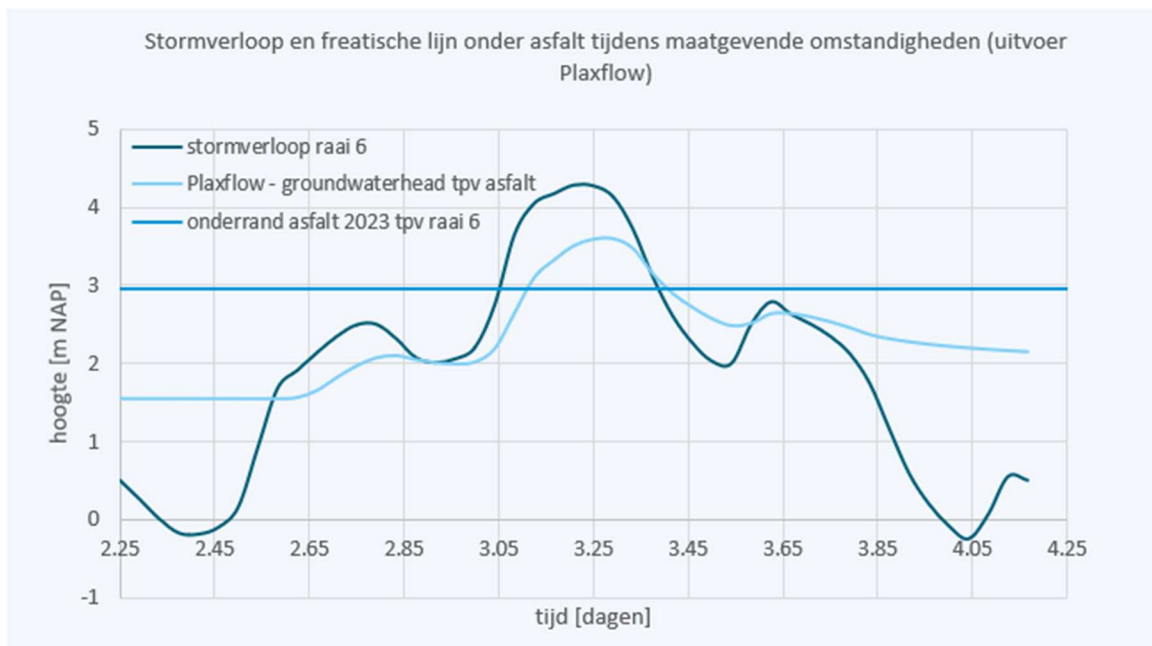
Tabel 2.4 Gehanteerde belastingparameters voor beoordeling

Parameter	Bron	Toelichting
waterstand bij norm 2023	berekend in Hydra-NL volgens uitgangspuntennotitie ontwerp [ref. 15]	de waterstand bij norm in 2023 behorende bij de ondergrens (T=1000 jaar) is gehanteerd
freatische lijn	Geohydrologische analyse [ref. 14]	freatische lijn voor 2023 volgt uit Plaxflow berekeningen. Voor de rekenwaarden van de FL zijn onzekerheidstoelagen toegepast volgens het rapport geohydrologische analyse [ref. 14]
golfcondities	berekend in Hydra-NL volgens het aangepaste hydraulische database v04 conform consequentieanalyse hydraulische randvoorwaarden [ref. 6]	de golfcondities voor 2023 zijn berekend in Hydra-NL bij de ondergrens (T=1000 jaar) voor de instelling asfalt golfklapzone. Diepte-limitering golfhoogte toegepast op golfcondities conform uitgangspuntennotitie ontwerp [ref. 15]

Uit de voor ASP uitgevoerde analyse blijkt dat het niveau van de freatische lijn ten opzichte van de buitenwaterstand een belangrijke parameter is. Dit niveau varieert tijdens de storm, aangezien de buitenwaterstand varieert door getijdewerking en windopzet en het niveau van de freatische lijn (met enige vertraging) na het hoogtepunt van de storm ook weer zakt. De beoordeling is daarom uitgevoerd voor meerdere tijdstappen tijdens de storm om de variatie tussen het niveau van de freatische lijn ten opzichte van de buitenwaterstand mee te nemen.

In Afbeelding 2.3 is ter illustratie het verloop van de freatische lijn onder de asfaltbekleding (uitvoer uit PlaxFlow) en het verloop van de buitenwaterstand tijdens een storm gegeven. Het verloop van de buitenwaterstand is geschematiseerd volgens [ref. 17] voor zichtjaar 2023 bij een terugkeertijd van 1000 jaar (gelijk aan ondergrens dijktraject).

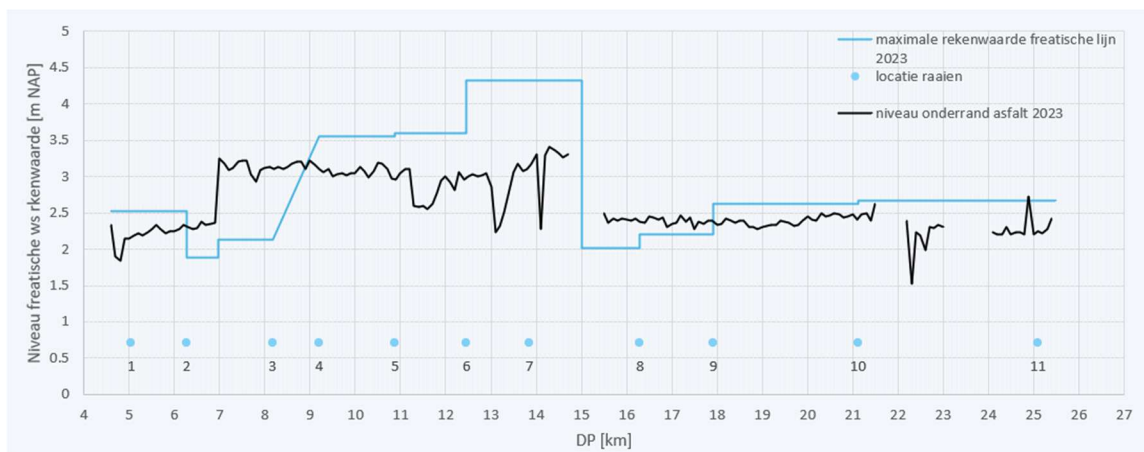
Afbeelding 2.3 Verloop freatische lijn onder asfaltbekleding tijdens maatgevende omstandigheden (uitvoer PlaxFlow) voor raai 6



In het geval van raai 6 (Afbeelding 2.3) is duidelijk te zien dat de freatische lijn tijdens stormcondities hoger wordt bij stijging van de buitenwaterstand. Tijdens de opbouw van de storm blijft de waterstand een stuk hoger dan de freatische lijn onder het asfalt. Na de piek van de storm is te zien dat de freatische lijn weer zakt (met enige vertraging) bij een daling van de buitenwaterstand. Hierdoor wordt het verschil tussen de waterstand en freatische lijn kleiner. Tijdens golfneerloop zakt de buitenwaterstand voor een korte periode nog verder, waardoor de netto waterdruk onder het asfalt groter wordt en de bekleding mogelijk kan bezwijken. Voor het merendeel van de dijkvakken die zijn afgekeurd op ASP, ligt het tijdstip van afkeuren nadat de maximale buitenwaterstand is bereikt.

In Afbeelding 2.4 is de rekenwaarde voor het maximale niveau van de freatische lijn uitgezet tegen het niveau van de onderrand van de asfaltbekleding voor zichtjaar 2023. Als de maximale waarde van de freatische lijn lager blijft dan het niveau van de onderrand is er geen gevaar voor het ontstaan van een S-profiel. In het geval dat de freatische lijn hoger wordt dan het niveau van de onderrand van de asfaltbekleding is het verschil tussen freatische lijn en buitenwaterstand en de golfcondities behorende bij de waterstand bepalend voor het oordeel.

Afbeelding 2.4 Rekenwaarde freatische lijn vs. niveau onderrand asfaltbekleding 2023



Duiding beoordelingsresultaten

De volledige versterkingsopgave voor ASP in 2023 is opgenomen in Tabel 2.5. In Afbeelding 2.5 zijn de resultaten van de restlevensduuranalyse visueel weergegeven. Die dijkvakken die in 2023 niet voldoen (restlevensduur 0 jaar) zijn met rood aangegeven. De dijkvakken met een beperkte restlevensduur van 0-12 jaar (zwart) liggen vaak aaneengesloten bij dijkvakken zonder restlevensduur. Gezien de beperkte levensduur komen deze dijkvakken in aanmerking om direct versterkt te worden. De dijkvakken met een restlevensduur van meer dan 25 jaar zijn niet in Tabel 2.5 opgenomen.

Tabel 2.5 Versterkingsopgave ASP in 2023 (na impact onderzoeken)

Normtraject	Dijk	DP van- DP tot	Lengte [m]	Rekenraai
13-5	Balgzanddijk	4.8-4.9	1300	1
		9.3-9.4		5
		9.5-9.9		6
		11.2-11.9		6
13-5	Amsteldiepdijk	12.5 -14.84	2340	7
12-1	Wieringer Zeewering	22.3-22.4 ¹	400	11
		22.6-22.7 ¹		11
		24.6-24.7 ¹		11
		24.8-24.9 ¹		11

¹ Dijkvakken hebben ook een versterkingsopgave voor AGK (asfalt einde levensduur).

Afbeelding 2.5 Resultaten restlevensduuranalyse ASP



De versterkingsopgave voor ASP is logisch en verklaarbaar. De belangrijkste parameter in de beoordeling is de freatische lijn onder het asfalt. De rekenwaarden voor het maximale niveau van de freatische lijn zijn bepaald aan de hand van een gedetailleerde geohydrologische studie, waarbij verschillende in-/ en externe experts zijn geraadpleegd. De juiste kalibratie van de modellen en omgang met onzekerheden waren de belangrijkste uitgangspunten. Uit de eenvoudige rekenregel voor ASP blijkt dat een deel van de asfaltbekleding in 2023 niet voldoet. In de volgende sub-paragrafen wordt de versterkingsopgave en duiding van de beoordelingsresultaten per afgekeurd dijkvak behandeld.

Balgzanddijk

Tussen DP4.8 en 4.9 voldoet de bekleding niet voor ASP. Het dijkvak en aangrenzende dijkvakken vallen allemaal onder raai 1 en hebben dezelfde rekenwaarde voor het maximale niveau van de freatische lijn. De reden dat dit dijkvak niet voldoet in 2023 en de aanliggende dijkvakken wel is een lokale variatie in het niveau van de onderrand van de asfaltbekleding. Het laagste niveau van de onderrand binnen het afgekeurde dijkvak is NAP +1,84 m. De dijkvakken voor DP 4.8 hebben een niveau van minimaal NAP +1,90 m en de dijkvakken na DP 4.9 hebben een minimaal niveau van NAP +2,15 m. In dit geval zorgt een lokaal laag niveau van de onderrand voor de opgave tussen DP4.8 en 4.9. Het dijkvak voldoet net niet aan de ondergrens en wordt gedurende één tijdsmoment tijdens de storm afgekeurd, met een dikte tekort van 2 cm (1 uur van de 48 uur risico op ontstaan S-profiel). In het geval dat de tijdreeks van de freatische lijn 5 cm lager zou zijn, dan zou het dijkvak worden goedgekeurd. Gedurende een periode van circa 1 uur leidt de onzekerheid rondom de freatische lijn tot een opgave voor het dijkvak.

Verder op de Balgzanddijk is er een opgave tussen DP9.3 en 9.4 en DP9.5-9.9 voor één tijdsmoment tijdens de storm. Deze dijkvakken vallen allemaal onder rekenraai 5 en hebben dezelfde rekenwaarde voor de freatische lijn, de oriëntatie van dijknormalen van de dijkvakken zijn ook gelijk. Het niveau van de onderrand varieert beperkt tussen NAP + 3,0 tot 3,15 m. De reden dat DP9.3-9.4 in 2023 niet voldoet en de aanliggende dijkvakken wel komt doordat het niveau van de onderrand lager ligt dan de aanliggende dijkvakken. Uit de restlevensduuranalyse volgt dat de restlevensduur van de aanliggende dijkvakken beperkt is (0-12 jaar) en versterking hier op korte termijn ook nodig is. Het dikte-tekort voor de afgekeurde dijkvakken is beperkt, hetgeen betekent dat deze dijkvakken dicht bij de ondergrens liggen. In het geval dat de tijdreeks van de freatische lijn 5 cm lager zou zijn, dan zou de dijkvakken worden goedgekeurd. De dikte tekorten van de dijkvakken liggen tussen de 2 en 4 cm.

Tussen DP9.9-11.2 is geen sprake van een versterkingsopgave tot minimaal 2073. Deze dijkvakken vallen ook onder raai 5 en het niveau van de onderrand varieert niet significant. De reden dat de asfaltbekleding hier wel voldoet is het feit dat er een voorland aanwezig is. Hierdoor worden de maximale golfhoogte diepte gelimiteerd wat zorgt voor een afname in de belasting. Het voorland is aanwezig van DP 9.9-11.2.

Vanaf DP 11.2-11.9 is sprake van een versterkingsopgave. De dijkvakken vallen onder raai 6 (de rekenwaarde van het maximale niveau van de freatische lijn is hier 5 cm hoger dan voor raai 5) en door de afwezigheid van het voorland heeft dieptelimitering van de golfhoogte minder effect. De taludhelling is tussen DP11.2-11.9 is steiler dan tussen DP11.9-12.6 (geen opgave), terwijl de asfaltparameters (dikte, niveau onderrand en soortelijke massa) en golfcondities vergelijkbaar zijn. De dijkvakken voldoen voor maximaal 2 tijdsmomenten niet en hebben een maximaal dikte tekort van 17 cm. De tijdsreeks van de freatische lijn zou 30 cm lager moeten zijn om deze vakken goed te keuren. De restlevensduur van de dijkvakken tussen DP11.9-12.6 is beperkt (0-12) jaar.

Amsteldiepdijk

De overgang van raai 6 naar raai 7 ligt op DP12.5. De rekenwaarde voor het maximale niveau van de freatische lijn voor raai 7 is bepaald op basis van het PlaxFlow-model van raai 6. Hierbij is gecorrigeerd voor de maatgevende waterstand en het verschil in response voor de peilbuismetingen. De response van peilbuis 7 is bij hoogwater groter dan bij raai 6. De correctie van de freatische lijn (inclusief onzekerheidstoelagen) heeft als gevolg dat de rekenwaarde voor raai 7 groter wordt dan de waterstand bij norm. In samenspraak met de experts is besloten om de rekenwaarde van de freatische lijn voor raai 7 te maximaliseren op de waterstand bij norm. Voor goedkeuring van deze dijkvakken zou de tijdreeks van de freatische lijn 90 cm lager moeten liggen. Dit geeft goed aan, dat de dijkvakken ver van de ondergrens af liggen.

Alle dijkvakken in raai 7 (DP12.5-14.84) voldoen niet op het mechanisme ASP. Deze dijkvakken waren al onderdeel van de versterkingsopgave in de verkenning.

Wieringer Zeewering

De rekenwaarde voor het maximale niveau van de freatische lijn is een stuk lager dan op de Amsteldiepdijk. Dit komt doordat de bodemopbouw wijzigt naar een dijk kern van zand op keileem. Hierdoor is de dijk een stuk minder doorlatend dan de Amsteldiepdijk, hetgeen de significante lagere freatische lijn verklaart.

Op de Wieringer Zeewering zijn er in totaal vier dijkvakken met een versterkingsopgave voor zichtjaar 2023. Op de locatie van de afgekeurde dijkvakken voor ASP voldoet de asfaltbekleding ook niet voor het mechanisme AGK (zie paragraaf 2.5). Opvallend is dat de opgave hier versnipperd is (de afgekeurde dijkvakken worden begrensd door dijkvakken die wel voldoen). De rekenwaarden voor het maximale niveau van de freatische lijn zijn voor alle afgekeurde dijkvakken hetzelfde (raai 11). De reden voor afkeur van DP22.3-22.4 en DP22.6-22.7 is een lokale verlaging van het niveau van de onderrand van de asfaltbekleding. De onderrand ligt hier significant lager (tot 0,5 m) dan de aanliggende dijkvakken. De dijkvakken DP 24.6-24.7 en DP 24.8-24.9 voldoen net niet aan de ondergrens in 2023. Uit de diktemetingen van de asfaltbekleding blijkt dat de bekleding hier lokaal 5 cm minder dik is dan bij de aanliggende dijkvakken. Voor alle afgekeurde dijkvakken op de Wieringer Zeewering geldt dat de tijdreeks van de freatische lijn circa 30 cm lager moet liggen om de dijkvakken goed te kunnen keuren.

2.2 Stabiliteit steenzetting (ZST)

Binnen de planuitwerkingsfase zijn verschillende onderzoeken uitgevoerd voor de steenzettingen. Voorliggende paragraaf geeft een overzicht van de onderzoeken en de impact op de versterkingsopgave.

2.2.1 Onderzoeken en impact op versterkingsopgave

De omvang van de versterkingsopgave voor de steenzetting aan het begin van de planuitwerking volgt uit de verkenning en WBI-beoordeling. Na afronding van de verkenning zijn in opdracht van het projectteam van HHNK vervolgonderzoeken voor de steenzettingen geïnitieerd om de versterkingsopgave mogelijk aan te scherpen. Daarnaast zijn tijdens de planuitwerkingsfase aanvullende onderzoeken voor de steenzetting uitgevoerd die impact hebben op de versterkingsopgave.

Veldonderzoek steenzetting

Vanuit de veiligheidsanalyse in de verkenning is nader (veld)onderzoek uitgevoerd naar onder meer de filterlaag onder de steenzetting en de kwaliteit van deze onderlaag. De uitkomsten van het veldonderzoek zijn verwerkt in de beoordeling van de steenzetting en zijn gerapporteerd in de rapportage zetsteen en filterlaag onderzoek [ref. 5]. Het veldwerk heeft geleid tot positieve en negatieve effecten voor de steenzetting. Op de Balgzanddijk heeft de gemeten korreldiameter van de filterlaag een negatief effect, wat leidt tot verdere afkeur van eerder als stabiel beoordeelde vakken. Voor de Amsteldiepdijk heeft de gemeten korreldiameter een positief effect, hetgeen zorgt voor volledige goedkeuring van het traject. Voor de Wieringerzeewering wijzigd het oordeel niet.

Nadere analyse versterkingsopgave steenzetting

Op advies van het ADO is een nader beoordeling uitgevoerd van de steenzettingen. Voor de steenzettingen is onderzocht of de beoordeling aangescherpt kan worden door het aanpassen van uitgangspunten. In het advies van het ADO zijn 'verborgen' veilige keuzes in het instrumentarium benoemd. Het onderzoek is uitgevoerd door Infram Hydren en gerapporteerd in de notitie nadere analyse versterkingsopgave dijktraject 13-5 en 12-1 [ref. 4].

In de rapportage staan verschillende conclusies en aanbevelingen. De conclusies en aanbevelingen uit de rapportage zijn puntsgewijs opgenomen in Tabel 2.6. Per conclusie of aanbeveling is in deze tabel de impact opgenomen van de uitkomst op de versterkingsopgave voor steenzetting. De uitkomsten van het onderzoek hebben geen impact op de omvang versterkingsopgave voor steenzetting.

Tabel 2.6 Impact uitkomsten onderzoek aanscherping versterkingsopgave voor ZST

Conclusie	Impact
aanbeveling om onderzoek te doen naar de aanwezigheid van een geotextiel. Indien een geotextiel aanwezig is, heeft dit een positieve impact op de stabiliteit van de steenzetting op mechanisme ZMO (materiaaltransport vanuit de ondergrond)	geen impact. In het veldonderzoek steenzettingen zijn geen geotextielen aangetroffen
aanbeveling om bij twee profielen die afgekeurd zijn op mechanisme ZAF (afschuiving) de aanwezige taludhelling in het veld na te gaan. Wanneer de taludhelling vergelijkbaar is met de naastgelegen profielen voldoen de profielen op het mechanisme ZAF Profielen 66 (DP 11.1-11.2) en 68 (DP 11.3-11.4) van de Balgzanddijk	geen impact. De aanwezige taludhelling is beschouwd op basis van AHN-data. Hieruit blijkt dat de taludhelling op de steilste delen gelijk is aan 1:2,7. De profielen voldoen hiermee op mechanisme ZAF. De profielen voldoen echter niet op mechanisme ZMO, dus dit heeft geen invloed op de versterkingsopgave
aanbeveling om de versterking van profielen in traject 13-5 uit te stellen als deze zijn afgekeurd op mechanisme ZTG (toplaaginstabiliteit onder golfaanval) in 2073, omdat deze profielen in 2023 voldoen bij de signaleringswaarde en in 2073 bij de ondergrens. Versterking is dus niet urgent	geen impact. De profielen zijn afgekeurd op een combinatie van ZMO en ZTG. De profielen blijven afgekeurd op ZMO, vanwege het ontbreken van een geotextiel en daarom is deze aanbeveling niet relevant
voor de afgekeurde profielen op ZST in traject 12-1 geldt dat ze zijn afgekeurd op het mechanisme ZTG (toplaaginstabiliteit onder golfaanval) en dat de onderlaag zandafalt is. Wanneer het zandafalt in goede staat verkeert, kan op basis van het resultaat van Deltagoottesten (uitgevoerd in 2000) het oordeel in 2023 aangescherpt worden	geen impact. Uit het veldonderzoek naar steenzetting blijkt dat het zandafalt niet in goede staat verkeert

Toets op maat onderlagen steenzetting

Een groot deel van de zetsteenbekleding heeft het oordeel 'verder beoordelen' gekregen op het mechanisme materiaaltransport (ZMO) en erosie van onderlagen (ZEO). Op een aantal bekledingsvlakken blijkt geen geometrisch gesloten filter aanwezig. Daarom kan op basis van de gehanteerde beoordelingssystematiek niet tot een eindoordeel gekomen worden. De bekleding kan in dit geval mogelijk op basis van een beheerdersoordeel (toets op maat) goedgekeurd worden.

In dat geval vervalt een groot deel van de scope. Binnen de planuitwerking heet W+B een toets op maat voor de steenzetting uitgevoerd. De methodiek en resultaten van de toets op maat staat beschreven in de notitie analyse impact onderzoeken [ref. 2]. In voorliggende paragraaf wordt alleen de conclusie van het onderzoek en de impact op de scope behandeld.

In een toets op maat is op basis van een beoordeling van het gedrag van de steenzetting geconstateerd dat, de Balgzanddijk en Amsteldiepdijk op het mechanisme ZMO voldoen. Dit is omdat (1) de staat van de steenzetting goed is en er geen verzakkingen of uitspoelingen zijn waargenomen. En (2) daarnaast is door een analyse van meetdata aangetoond dat de steenzetting een aantal malen een hydraulische belasting heeft ondergaan met een minimale golfhoogte van 0,5 m. Een dergelijke bekledingsopbouw werd in eerste instantie niet kansrijk geacht om stabiel te zijn op mechanisme ZMO en dat is de reden dat de bekledingsopbouw niet stabiel bevonden is in Steentoets. De praktijk laat echter zien dat er geen uitspoeling plaatsvindt, waardoor de bekleding op mechanisme ZMO wordt goedgekeurd. De breed gegradeerde filterlaag kan de goede werking van de opbouw verklaren. Uit de korrelgrootteverdelingen die bepaald zijn in het laboratoriumonderzoek [ref. 5] is op te maken, dat de gradering ervoor kan zorgen dat er geen materiaal uit de onderlaag uitspoelt.

Consequentieanalyse hydraulische randvoorwaarden

In [ref. 6] zijn de foute waarden van de modelonzekerheidsfactoren voor de golfhoogte en golfperiode hersteld. Daarnaast is op basis van nieuwe kennis een correlatiefactor toegevoegd voor de golfcondities. De wijzigingen aan het hydraulische database zorgen voor een kleine toename (2 %) van de golfhoogte en een grotere toename (7 %) van de golfperiode.

De combinatie van hogere golven en langere golfperiodes heeft effect op de belasting van de toplaag. Door de toename van de golfperiode neemt de golflengte toe, hetgeen gevolgen heeft voor de brekerparameter (Irrabarrengetal). De waarde van de brekerparameter bepaalt het stijghoogteverschil over de steenzetting. Hoe groter het stijghoogteverschil, hoe groter de belasting op de steenzetting. Het filter onder de steenzetting (type, materiaal, doorlatendheid en dikte) is ook bepalend voor het maximaal optredende stijghoogteverschil. De versterkingsopgave voor de steenzetting neemt toe als gevolg van de consequentieanalyse hydraulische randvoorwaarden. Op de Wieringer Zeewering zijn een aantal dijkvakken die als gevolg van de wijzigingen niet meer voldoen op stabiliteit toplaag.

Restlevensduuranalyse steenzetting

Vanwege de aanpassingen aan de hydraulische randvoorwaarden database zijn de golfcondities gewijzigd. De ten behoeve van de afweging adaptief versterken in het begin van de planuitwerkingsfase uitgevoerde restlevensduuranalyse is niet meer up-to-date en is daarom opnieuw uitgevoerd. De analyse is alleen uitgevoerd voor de dijkvakken die in 2023 voldoen. De resultaten van de analyse zijn opgenomen in de notitie restlevensduuranalyse [ref. 23]. De resultaten van de restlevensduuranalyse zijn opgenomen in Afbeelding 2.6.

2.2.2 Afweging en duiding versterkingsopgave steenzetting

Voor de beoordeling van de steenzettingen zijn uitgangspunten gehanteerd die van belang zijn om de resultaten te duiden:

- de aangepaste hydraulische randvoorwaarden database met de herstelde modelonzekerheidsfactoren voor de golfcondities en toevoeging van de correlatiefactor is gebruikt voor het bereken van de golfcondities voor zichtjaar 2023;
- de berekende golfcondities zijn diepte gelimiteerd conform het memo maximale golfhoogte op ondiep water [ref. 9];
- uitkomsten vanuit het veldonderzoek naar de toplaag van de steenzetting en de filterlaag, uitgevoerd in 2023 door RHDHV, zijn verwerkt in de invoer van Steentoets [ref. 5].

De bekledingsopbouw is vastgesteld op basis van bestektekeningen en veldonderzoek:

- Balgzanddijk (DP 4.5 - 12.5): basalt 0,30 m, slakken 0,30-0,40 m, op zand;
- Amsteldiepdijk (DP 12.5 - 14.79): basalt 0,30 m, slakken 0,30-0,40 m, op zand;
- Wieringer Zeewering (DP 14.79 - 19.75): basalt (0,35 m), zandasfalt;
- Wieringer Zeewering (DP 19.75 - 25.6): basalt (0,3 - 0,5 m), 0,15 m puinlaag, zandasfalt.

De technische onderzoeken hebben voor zowel een afname en toename van de versterkingsopgave voor de steenzetting gezorgd. De steenzettingen op de Balgzanddijk en Amsteldiepdijk zijn goedgekeurd op het mechanisme ZMO in een toets op maat. Er blijft alleen opgave over voor de steenzetting op de Wieringer Zeewering voor het mechanisme ZTG. Op de Wieringer Zeewering neemt de veiligheidssopgave voor dit mechanisme verder toe ten aanzien van de verkenning als gevolg van de aangepaste hydraulische database. De versterkingsopgave voor zichtjaar 2023 is opgenomen in Tabel 2.7.

Tabel 2.7 Versterkingsopgave ZST 2023 (na impact onderzoeken)

Dijk, normtraject	DP van - DP tot	Lengte [m]
Wieringer zeewering, normtraject 12-1	15.6-15.7	100
Wieringer zeewering, normtraject 12-1	15.8-17.3	1.500
Wieringer zeewering, normtraject 12-1	18.2-19.75	1.550

Afbeelding 2.6 Restlevensduuranalyse Steenzetting



Alle dijkvakken die voor ZTG niet voldoen hebben dezelfde opbouw (0,35 m basalt op een zandasfaltlaag). Daarnaast valt op dat de versterkingsopgave niet volledig aaneengesloten is. Tussen DP 15.7-15.8 voldoet de steenzetting op stabiliteit toplaag, maar ligt het dijkvak zeer dicht bij de ondergrens, omdat er geen dikteoverschot is. De restlevensduur is 0-12 jaar. Tussen DP 17.3 en 18.2 is ook geen opgave terwijl de steenzetting in vergelijking met de aangrenzende vakken dezelfde opbouw en een vergelijkbare oriëntatie heeft. Doordat er een voorland voor de dijk ligt worden de golfcondities sterk gereduceerd waardoor de belasting afneemt. Bij de aangrenzende vakken ontbreekt dit voorland, waardoor met een grotere golfbelasting wordt gerekend.

Vanaf DP19.75 is er geen opgave. Dit is verklaarbaar omdat dit de precieze overgang is van basalt naar basaltzuilen. Daarnaast wordt de samenstelling van de onderlaag hier ook anders: tussen de toplaag en het zandasfalt wordt een 15 cm dikke uitvulling van puin aangetroffen. De hogere soortelijke massa van de basaltzuilen en de puinlaag zorgt onder golfaanval voor een meer stabiele toplaag, waardoor het basalt in 2023 (en 2073) voldoet aan de ondergrens.

Merk op dat binnen de planuitwerkingsfase is ook gekeken of de steenzetting op zandasfalt niet toch kan worden goedgekeurd op basis van resultaten van Deltagootproeven in 2000. De steenzetting en onderlaag kan onder bepaalde voorwaarden goedgekeurd worden. Hiervoor dient de kwaliteit van het zandasfalt goed te zijn en het zuilhoogte tekort beperkt. Uit de laboratoriumproeven op de zandasfaltlaag volgend uit het veldonderzoek steenzetting ([ref. 5]) blijkt dat het zandasfalt niet van goede kwaliteit is (weinig cohesie aanwezig). Het is daarom niet mogelijk om op basis van de Deltagootproeven de steenzetting alsnog goed te keuren.

2.3 Graserosie buitentalud (GEBU)

Binnen de planuitwerkingsfase is de versterkingsopgave voor GEBU verminderd door aanvullende onderzoeken. In de verkenning is als uitgangspunt een open graszode gehanteerd. De versterkingsopgave uit de verkenning is op te delen in grasbekleding in de golfoploopzone en grasbekleding in de golfklapzone.

De dijkopbouw van normtraject 13-5 en 12-1 is uniform: steenzetting, waterbouwasfaltbeton en een grasbekleding. Voor normtraject 13-5 (Balgzanddijk en Amsteldiepdijk) wordt de grasbekleding alleen belast door golfoploop. Conform de resultaten uit de verkenning is er geen acute versterkingsopgave (2023) voor de grasbekleding in de oploopzone, maar zijn er wel veel profielen die bij een open graszode in 2073 niet zullen voldoen. De profielen met enige restlevensduur zijn binnen de planuitwerking opgenomen in spoor 2. Voor normtraject 12-1 (Wieringer zeewering) wordt vrijwel overal de grasbekleding ook belast door golfoploop en geldt hetzelfde resultaat als voor normtraject 13-5. Tussen DP21.6-22.3 en DP 23.3-24.1 ligt de grasbekleding echter in de golfklapzone (hier is geen asfalt aanwezig). Omdat de grasbekleding hier in de golfklapzone ligt, zijn de belastingen groter, hetgeen zorgt voor een versterkingsopgave (opgave onderdeel van de verkenning).

2.3.1 Onderzoeken en impact op veiligheidssopgave

Tijdens de planuitwerkingsfase zijn er verschillende onderzoeken uitgevoerd naar de grasbekleding. Er is gekeken of het beheer geoptimaliseerd kan worden om het uitgangspunt 'open graszode' te wijzigingen naar 'gesloten graszode'. Er is ook veldonderzoek uitgevoerd om te bepalen of de samenstelling van de leeflaag geschikt is voor het ontwikkelen van een gesloten. Daarnaast is met nieuwe beoordelingstechnieken gekeken of de opgave rekenkundig aangescherpt kan worden. De onderzoeken en conclusies worden behandeld in voorliggende paragraaf.

Nadere analyse GEBU dijktrajecten 13-5 en 12-1

In 2021 heeft Infram Hydren in opdracht van HHNK een nadere analyse van de versterkingsopgave voor GEBU uitgevoerd [ref. 10]. Voor deze analyse is een door Deltares voor normtraject 12-1 en 13-5 gevalideerd plug-in toegepast. Met deze plug-in kan onder een probabilistische analyse voor GEBU worden uitgevoerd (en kunnen de faalmechanismen GEBU en GEKB gezamenlijk worden geschouwd).

Toepassen van de plug-in leidt voor 2073 tot een significante reductie van de versterkingsopgave voor de grasbekleding in de oploopzone bij een open graszode. Bij een open graszode blijft er voor zichtjaar 2100 een kleine versterkingsopgave. Verder wordt opgemerkt dat voor bijna alle profielen geldt dat op doorsnedeniveau wordt voldaan aan de eis voor zichtjaar 2100 als er sprake is van een gesloten zode. Mede gelet op het feit dat het beheer van HHNK gericht is op een gesloten zode, is het vreemd dat voor de versterkingsopgave de resultaten voor een grasbekleding met een op zode worden aangehouden. Over het algemeen is een open zode eerder uitzondering dan regel. Wanneer uit inspecties blijkt dat er lokaal sprake is van een open (of zelfs fragmentarische) zode kunnen (tijdelijke) maatregelen getroffen worden om te voorkomen dat de grasbekleding op deze locaties faalt.

Naast toepassing van de plug-in voor de grasbekleding in de oplooppzone zijn aanvullende berekeningen gemaakt voor GEBU in de golfklapzone. Alleen de profielen die in de verkenning zijn afgekeurd op golfklap zijn opnieuw doorgerekend. Uit de analyse blijkt dat het oordeel bij een open (en gesloten) zode niet wijzigt (categorie IV_v). Versterken blijft noodzakelijk.

Beheeroptimalisatie grasbekleding

De grasbekleding in de golfoplooppzone voldoet op grote delen van het traject wel aan de ondergrens in 2023, maar niet aan de ondergrens in 2073. Het uitgangspunt in de achterliggende beoordeling is een grasbekleding met een open zode, mede vanwege de aanwezigheid van pachters. Wanneer het lukt om een gesloten zode te realiseren, voldoet de grasbekleding in de golfoplooppzone op het hele traject aan de ondergrens in 2073. Het realiseren van een gesloten zode is dan de versterkingsmaatregel.

De haalbaarheid van het realiseren van een gesloten zode is onderzocht door het afnemen van interviews met HHNK. Op basis van de interviews is geconcludeerd dat het haalbaar moet zijn om op het dijktraject Den Oever-Den Helder een gesloten zode te krijgen. Het moet aantoonbaar zijn, dat de juiste condities worden geschept en dat de juiste inspanningen worden gedaan waardoor het aannemelijk is dat een gesloten graszode aanwezig is.

Wanneer de grasbekleding op de juiste wijze wordt beheerd, kan zich binnen 10 jaar een gesloten graszode ontwikkelen. Het is een belangrijke conclusie dat het beheer van de grasbekleding op dit moment niet optimaal wordt bevonden om een gesloten graszode te bereiken. Het huidige beheer van HHNK streeft in principe naar een gesloten zode op de primaire keringen. Het verslag van de interviews is opgenomen in de notitie analyse impact onderzoeken [ref. 2].

Leeflaagonderzoek - gesloten zode

Het veldonderzoek naar de leeflaag onder de grasbekleding is uitgevoerd om te bepalen of de leeflaag een geschikte samenstelling heeft om met beheeroptimalisaties een gesloten graszode te realiseren.

De belangrijkste conclusies uit het onderzoek zijn:

- de leeflaag op de Wieringer Zeewering is een stuk zandiger in vergelijking met de Balgzanddijk en Amsteldiepdiijk. Vanwege de minder diepte doorworteling en het hogere zand percentage zijn er kansen voor het toepassen van een soortenrijk gras/kruidenmengsel. De doorworteling van kruiden is doorgaans dieper en daarnaast is een hoger zandgehalte geen bezwaar;
- de waargenomen verschillen in de toplaag (biologische- en chemische samenstelling) hebben geen herleidbaar verband met de kwaliteit en sluiting van de grasmat;
- de grasbekleding is in goede staat, ter plaatse van de genomen monsters. Daarbij moet gezegd worden dat dit niet automatisch betekent dat de hele grasbekleding goed is, omdat maar een klein deel onderzocht is.

Consequentieanalyse hydraulische randvoorwaarden

Zoals eerder besproken hebben de wijzingen aan de hydraulische database die volgen uit de consequentieanalyse hydraulische randvoorwaarden ([ref. 6]) impact op de golfcondities. Uit de impactanalyse blijkt dat de nieuwe golfcondities zorgen voor een toename van de faalkans. De hogere golven met langere periode zorgen voor een grotere belasting op de grasbekleding waardoor de faalkans groter wordt. De aangepaste database heeft echter geen gevolgen voor de omvang van de versterkingsopgave voor de grasbekleding. Bij een gesloten graszode voldoen alle doorgerekende dijkvakken in 2100 nog aan de waterveiligheidseisen. Het beheer van HHNK is ingesteld op het verkrijgen van een gesloten zode en veldonderzoek heeft aangetoond dat een gesloten grasbekleding goed mogelijk is zonder ingrepen aan de leeflaag. De opgave voor de dijkvakken die al onderdeel van de versterkingsopgave blijven gehandhaafd.

2.3.2 Afweging en duiding versterkingsopgave

De resultaten van bovenstaande onderzoeken naar de grasbekleding zijn gebundeld en een uiteindelijke afweging voor de versterkingsopgave is gemaakt in de notitie 'Afweging adaptief versterken' [ref. 22]. Uit bovenstaande analyses blijkt dat in spoor 2 een klein deel van de versterkingsopgave voor de grasbekleding in de golfoploopzone overblijft. Dit geldt alleen bij een open zode. In het geval een gesloten zode gerealiseerd wordt, vervalt de volledige versterkingsopgave in spoor 2. Het beleid van HHNK vanuit assetmanagement Waterveiligheid is erop gericht dat 'Primaire keringen dienen overslagbestendig te zijn. Grasbekleding op dit type keringen dient te allen tijde te bestaan uit een gesloten zode'.

Op basis van interviews met deskundigen binnen en buiten HHNK is geconcludeerd dat een gesloten graszode binnen 10 jaar haalbaar is met aanpassingen aan het huidige beheer en onderhoud. Met uitzondering van DP 20.75 - 20.85 (restlevensduur van 10 jaar), is de restlevensduur over het hele traject minstens 12 jaar. Hierdoor is het aannemelijk dat in de komende periode van 10 jaar (tot 2033) gewerkt kan worden aan een gesloten graszode.

De minimale restlevensduur van 10 jaar voor de grasbekleding, toepassing van de plug-in, de resultaten van het leeflaagonderzoek en de ontwikkeling van een nieuwe beoordelings- en ontwerpmethodiek maakt dat geadviseerd wordt de versterkingsopgave met betrekking tot gras in de golfoploopzone die overblijft na toepassing van de plug-in in spoor 2 (adaptief versterken) te houden.

De versterkingsopgave voor de grasbekleding in de golfklapzone wijzigt niet als gevolg van de onderzoeken. Doordat de grasbekleding laag op het buitentalud ligt is er sprake van een zware belasting. De volledige versterkingsopgave voor GEBU is opgenomen in Tabel 2.8.

Tabel 2.8 Versterkingsopgave GEBU

Dijk/ normtraject	Van DP-tot DP	Lengte [m]	Opmerking
Wieringer Zeewering, normtraject 12-1	21.65-21.75 22.275-22.3 23.35-23.4 24.1-23.175	500	versterkingsopgave voor grasbekleding in de golfklapzone

2.4 Macrostabiliteit binnenwaarts (STBI)

2.4.1 Onderzoeken en impact op versterkingsopgave

Binnen de planuitwerking is er één onderzoek uitgevoerd dat impact heeft op de omvang van de versterkingsopgave voor STBI.

Aanvullend geotechnisch onderzoek Balgzanddijk

In de planuitwerkingsfase is de VKA-afweging voor de Balgzanddijk herijkt. In plaats van het aanbrengen van steenbestorting in het Balgzandkanaal is gekozen voor het plaatsen van een langsconstructie, zoals bijvoorbeeld een damwand. De dichtheid van het beschikbare grondonderzoek vanuit de verkenning is niet voldoende om een definitief ontwerp uit te werken voor de langsconstructie. Voor de uitwerking van het definitief ontwerp van de langsconstructie (DP8.75-11.8) is aanvullend geotechnisch onderzoek uitgevoerd op de Balgzanddijk. Het geotechnisch onderzoek bestaat uit een serie sonderingen en boringen op de kruin en binnenteen van de dijk. Het onderzoek geeft inzicht in de grondopbouw, verloop van waterspanningen en sterkte van de ondergrond. Deze informatie is nodig om te bepalen tot hoe diep en over welke lengte de langsconstructie aangebracht moet worden, zodat de dijk sterk genoeg is.

Uit het geotechnisch onderzoek blijkt dat er in de ondergrond een kleiige geul aanwezig is. Vanwege de aanwezigheid van de geul is de ondergrond minder sterk dan eerder gedacht. Daardoor zijn er zwaardere en langere damwanden nodig. Daarnaast blijkt dat de geul verder doorloopt (in lengterichting) dan eerder was aangenomen. Dat betekent dat er over een langere lengte van het dijktraject, ongeveer 600 meter, een versterkingsopgave is voor STBI. Vertaald naar het dijkversterkingsontwerp zijn er over een langere lengte damwanden nodig (DP8.75-12.4). Deze onderzoeksresultaten en verantwoording voor uitbreiding van de versterkingsopgave zijn opgenomen in de notitie interpretatie geotechnisch onderzoek [ref. 11].

2.4.2 Afweging en duiding versterkingsopgave

Uit het aanvullend geotechnisch onderzoek volgt een aanvullende versterkingsopgave voor DP11.8-12.4. Omdat voor zichtjaar 2023 niet aan de ondergrens wordt voldaan is de versterkingsopgave acuut en is er geen mogelijkheid voor uitstellen. In Tabel 2.9 is versterkingsopgave voor STBI opgenomen.

Tabel 2.9 Versterkingsopgave STBI zichtjaar 2023

Dijk/ normtraject	Van DP-tot DP	Lengte [m]	Opmerking
Balgzanddijk normtraject 13-5	8.75-12.40	3650	versterkingsopgave STBI inclusief aanvullende opgave als gevolg van aanvullend geotechnisch onderzoek

2.5 Bezijken asfaltbekleding door golfklappen (AGK)

Binnen de planuitwerkingsfase is een restlevensduuronderzoek uitgevoerd voor de asfaltbekleding. Voorliggende paragraaf geeft een overzicht van het onderzoek en de impact op de versterkingsopgave.

2.5.1 Onderzoeken en impact op versterkingsopgave

Restlevensduuranalyse Kiwa KOAC

De versterkingsopgave voor het faalmechanisme golfklappen op asfaltbekleding is bepaald op basis van het asfaltonderzoek en de restlevensduuranalyse van Kiwa KOAC. Het onderzoek en de resultaten staan beschreven in de rapportage 'Restlevensduurbepaling Waddenzeedijk Den Oever-Den Helder' [ref. 1]. Binnen het onderzoek zijn voor de Balgzanddijk, Amsteldiepdijk en Wieringer Zeewering in totaal vier dijkvakken met gelijke eigenschappen van het asfalt onderscheiden. Vervolgens is voor ieder dijkvak de restlevensduur bepaald (zie Tabel 2.10).

Tabel 2.10 Overzicht dijkvakken restlevensduuronderzoek asfaltbekleding [ref. 1]

Dijkvak	Naam dijkvak	Normtraject	Jaar van aanleg	Van dijkpaal tot dijkpaal	Lengte [m]	Restlevensduur (klasse)
1	Dam 11- Noorder Oeverdijk-Bierdijk	12-1	1980	22.3-25.5	3.400	<6 jaar
2	Rinkeweelsedijk - Normerdijk	12-1	1985	15.6-21.6	6.000	>24 jaar
3	Amsteldiepdijk	13-5	1990	12.5-14.8	2.300	>24 jaar
4	Balgzanddijk	13-5	1990	4.6-12.5	7.900	>24 jaar

Voor één dijkvak is restlevensduur van de asfaltbekleding kleiner dan 6 jaar, de overige vakken hebben een restlevensduur groter dan 24 jaar. W+B heeft het dijkvak met een restlevensduur kleiner dan 6 jaar in meer detail beschouwd in de notitie 'Analyse impact onderzoeken' [ref. 2].

In dijkvak 1 is geen asfaltbekleding aanwezig tussen DP23.1-24.175. De trajecten uit de WBI-beoordeling komen over het algemeen overeen met dijkvak 1, behalve dat in de WBI-beoordeling een deel van dijkvak 1 (DP24.95-25.7) geen onderdeel is van de versterkingsopgave. Het dijktraject DP 24.95-25.70 voldoet aan de norm (categorie II_v), doordat vanwege de golfremmende werking van het voorland de golfbelasting laag is [ref. 3]. De sterkte van het asfalt is gelijk aan het asfalt in traject DP 22.275 - 24.95. Vanuit de WBI-beoordeling volgt dat het asfalt van de trajecten DP 22.275 - 23.10 en DP 24.175 - 24.95 niet voldoet aan de ondergrens in 2023.

Consequentieanalyse hydraulische randvoorwaarden

De wijzigingen aan de hydraulische database die volgen uit de consequentieanalyse hydraulische randvoorwaarden hebben gevolgen voor de golfcondities die worden gehanteerd in de beoordeling. Doordat de golfperiode langer wordt, maar de stormduur gelijk blijft zijn er minder golven tijdens een storm. De asfaltbekleding is vermoeiingsgevoelig, doordat het aantal golven afneemt, neemt ook de vermoeiingsschade iets af. De aangepaste hydraulische randvoorwaarden hebben in dit geval een klein positief effect op de vermoeiingsschade. De versterkingsopgave voor het asfalt einde levensduur blijft wel gehandhaafd, omdat de sterkte-parameters van het asfalt ontoereikend zijn.

2.5.2 Afweging en duiding versterkingsopgave

Op basis van het onderzoek naar de reststerkte van de asfaltbekleding en de uitgevoerde controle-berekening met BM Asfalt Golfklap blijft het oordeel uit de WBI-beoordeling staan dat de asfaltbekleding op het oostelijk deel van het traject van de Wieringer Zeewering einde levensduur is (DP 22.275 - 23.10 en DP 24.175 - 24.95), uitgezonderd het deel van de asfaltbekleding waar een voorland voor de dijk aanwezig is (DP 24.95 - 25.7). Einde levensduur betekent dat de sterkte-eigenschappen van het asfalt door veroudering zijn afgenomen en de bekleding niet meer voldoende weerstand kan bieden tegen golfklappen.

Tabel 2.11 Versterkingsopgave AGK (asfaltbekleding einde levensduur) zichtjaar 2023

Dijk/ normtraject	Van DP-tot DP	Lengte [m]	Opmerking
Wieringer Zeewering, normtraject 12-1	22.275-23.1 ¹ 24.175-24.96 ¹	1.600	Versterkingsopgave AGK vanwege einde restlevensduur asfaltbekleding

¹ De opgave heeft overlap met 400 m opgave voor ASP (zie paragraaf 2.1).

3 CONCLUSIE

Voorliggend hoofdstuk geeft per faalmechanisme een conclusie over de doelmatigheid van de versterkingsopgave. De volledige versterkingsopgave is ook opgenomen in bijlage I.

ASP

Tijdens de planuitwerking is de opgave voor ASP toegenomen met circa 20 % ten aanzien van het begin van de planuitwerking. De lengte van de versterkingsopgave was aan het begin van de planuitwerking 2840 m en als gevolg van de geohydrologische analyse die voor een verhoging van de freatische lijn heeft gezorgd wordt de lengte van de versterkingsopgave 3640 m. De schematisering van de freatische lijn is tijdens de planuitwerking verbeterd ten aanzien van de verkenning. Door middel van een aanvullende geohydrologische analyse is de kalibratie van de modellen verbeterd. Daarnaast is er veel aandacht geweest voor de veiligheidsfilosofie voor een doelmatige omgang met de onzekerheden. Voor de beoordeling op ASP zijn de rekenparameters afgeleid uit verschillende bronnen op basis waarvan de parameters van de asfaltbekleding nauwkeurig zijn vastgesteld. Het rekencriterium is één op één overgenomen uit de rapportage stabiliteit van oud asfalt onder golfaanval [ref. 19].

ZST

De versterkingsopgave voor steenzetting is tijdens de planuitwerking toegenomen. De belangrijkste reden voor de toename is het herstel van de hydraulische randvoorwaarden database. De golfhoogte en periode nemen significant toe met de aangepaste hydraulische database (toename golfhoogte circa 2 %, toename golfhoogte circa 7 %). Door de toename van de golfcondities neemt de versterkingsopgave voor zichtjaar 2023 voor topklaag stabiliteit met circa 65 % toe. Alleen op de Wieringer Zeewering is er een opgave voor de steenzetting. De opbouw van de steenzetting is op locaties met een opgave overal hetzelfde: 0,35 m basalt op een laag van zandasfalt. Uit gevoeligheidsberekeningen blijkt dat het zandasfalt zeer ongunstig werkt op de stabiliteit van topklaag. Dit komt onder andere doordat zandasfalt in steentoets als klei wordt geschematiseerd. Het is niet mogelijk om het oordeel aan te scherpen met een toets op maat. Uit veldonderzoek blijkt dat het zandasfalt in slechte staat verkeerd (weinig cohesie).

GEBU

De versterkingsopgave voor GEBU in de golfklapzone is tijdens de planuitwerking stabiel gebleven. Op de Wieringer Zeewering ligt bij vier dijkvakken de grasbekleding in de golfklapzone. Zowel bij en open als gesloten zode voldoen deze dijkvakken niet aan de ondergrens, versterken is noodzakelijk.

Op basis van onderzoeken is geconcludeerd dat het goed mogelijk is om binnen 10 jaar een gesloten graszode op de dijk Den Helder-Den Oever te realiseren met beheerinspanningen. Bij een gesloten zode verdwijnt de volledige toekomstige opgave voor de grasbekleding in de golfoploopzone (voor zichtjaar 2023 voldoet dat grasbekleding in de oploopzone nog).

STBI

Voor STBI is er tijdens de planuitwerking een wijziging aan het vastgestelde VKA doorgevoerd. Het VKA (steenbestorting binnenteen) is niet inpasbaar gebleken in combinatie met het minimaal benodigde doorstroomprofiel van het Balgzandkanaal. Het nieuwe VKA gaat uit van een langsconstructie om het stabiliteitsprobleem op te lossen. Ten behoeve van het definitief ontwerp van de langsconstructie is binnen de planuitwerking aanvullend grondonderzoek uitgevoerd. Uit het grondonderzoek blijkt dat er 600 m aanvullende versterkingsopgave blijkt vanwege het verder doorlopen van een kleiige geul.

AGK

De opgave voor de asfaltbekleding volgt uit de restlevensduuranalyse. Op grote delen van de dijk is de levensduur van de asfaltbekleding nog minimaal 24 jaar. Voor de Wieringer Zeewering is op twee locaties de restlevensduur van het asfalt beperkt, waardoor versterking van het asfalt noodzakelijk wordt geacht.

4 REFERENTIES

- 1 Kiwa KOAC B.V. (2022). Restlevensduurbepaling Waddenzeedijk Den Oever-Den Helder-eindrapport.
- 2 Witteveen+Bos (2022). Analyse Impact onderzoeken. Planuitwerking dijkversterking Den Oever-Den Helder. Corsanummer: 21.1066220.
- 3 HHNK (2020). Stap G.2: Analyse van belasting en sterkte, vak 12-1_09, Golfklappen op asfaltbekleding (AGK) - Beoordeling normtraject 12-1. Kenmerk: -, datum: 26 maart 2020.
- 4 Infram Hydren (2021). Nadere analyse veiligheidsopgave ZST dijktrajecten 13-5 en 12-1, stabiliteit steenzetting.
- 5 Royal Haskoning DHV (2022). Zetsteen en filterlaag onderzoek Den Oever-Den Helder.
- 6 Witteveen+Bos (2024). Consequentieanalyse hydraulische randvoorwaarden. Planuitwerking dijkversterking Den Oever-Den Helder.
- 7 Witteveen+Bos (2022). Restlevensduuranalyse steenzetting. Planuitwerking dijkversterking Den Oever-Den Helder.
- 8 Infram Hydren (2021). Memo Nadere analyse GEBU dijktrajecten 13-5 en 12-1.
- 9 Deltares (2018). Maximale significante golfhoogte op ondiep water [Deltares-memo 11202105-000-GEO-0001] M. Klein Breteler.
- 10 Infram Hydren (2021). Nadere analyse veiligheidsopgave GEBU dijktraject 13-5 en 12-1. Kenmerk:21ii867_211217_01.
- 11 Witteveen+Bos (2023). Interpretatie geotechnisch onderzoek (deel 2) en impact op WBI-beoordeling.
- 12 HKV - RHDHV, Rapportage nader onderzoek DODH, referentie PR3870.30, corsanummer 20.0082180, Definitief, April 2019.
- 13 HHNK, Freatische Lijn DODH bevindingen, referentie 23.0386265, 18 april 2023.
- 14 Witteveen+Bos (2023). Geohydrologische analyse. Planuitwerking dijkversterking Den Oever-Den Helder.
- 15 Witteveen+Bos (2023). Uitgangspuntennotitie ontwerp. Planuitwerking dijkversterking Den Oever-Den Helder.
- 16 Witteveen+Bos, Overleg geohydrologische analyse DODH, ref. 128893/23-013.696, 25 augustus 2023.
- 17 Ministerie van I&W (2019). Schematiseringshandleiding asfaltbekleding - WBI 2017.
- 18 Adviesteam Dijkontwerp (2024). Memo ontwerpverificatie asfaltbekleding Den Oever-Den Helder. Versie AD298-1-1.
- 19 Deltares (2018). Stabiliteit van oud asfalt tijdens golfaanval. Analyse van de resultaten van het Deltagootonderzoek met asfalt van de Lauwersmeerdijk.
- 20 Witteveen+Bos (2024). Restlevensduuranalyse. Planuitwerking Den Oever-Den Helder.
- 21 Witteveen+Bos (2023). Resultaten onderzoek leeflaag grasbekleding. Planuitwerking dijkversterking Den Oever-Den Helder.
- 22 Witteveen+Bos (2023). Afweging Adaptief versterken. Planuitwerking dijkversterking Den Oever-Den Helder. Corsanummer: 22.0919099.
- 23 Witteveen+Bos (2024). Restlevensduuranalyse. Planuitwerking dijkversterking Den Oever-Den Helder.
- 24 Royal Haskoning DHV (2019). Eindrapport integrale verkenning. Verkenning dijkversterking Den Oever-Den Helder (DODH).
- 25 INPIJN-Blokpoel (2019). HWBP -Verkenning Wieringer Zeewering, Balgzanddijk en Amsteldiepdijk tussen de Kooy en Den Oever. Resultaten geotechnisch onderzoek en installatie monitoringsnet.



BIJLAGE: OVERZICHT VERSTERKINGSOPGAVE

Dijkpalen	Dijkpaal start	Dijkpaal einde	km's	Naam	Spoor 1 per faalmechanisme OL3					Restlevensduur OL4a					opgave OL3 vs restlevensduur OL4a				
					STBI	ASP	Asfalt einde levensduur (AGK)	GEBU (golflap)	ZST	STBI	ASP	Asfalt einde levensduur (AGK)	GEBU (golflap)	ZST	OL3	2023	2035	2048	2073
4.5 - 4.7	4.5	4.7	0.20	Balgzanddijk								0.20							
4.7 - 4.8	4.7	4.8	0.10								0.10	0.10							
4.8 - 4.9	4.8	4.9	0.10								0.10	0.10							
4.9 - 5.3	4.9	5.3	0.40								0.40	0.40							
5.3 - 7.25	5.3	7.25	1.95									1.95							
7.25 - 7.75	7.25	7.75	0.50									0.50							
7.75 - 7.95	7.75	7.95	0.20									0.20							
7.95 - 8.25	7.95	8.25	0.30									0.30							
8.25 - 8.45	8.25	8.45	0.20									0.20							
8.45 - 8.75	8.45	8.75	0.30									0.30							
8.75 - 9.2	8.75	9.2	0.45		0.45					0.45		0.45							
9.2 - 9.3	9.2	9.3	0.10		0.10					0.10	0.10	0.10							
9.3 - 9.4	9.3	9.4	0.10		0.10					0.10	0.10	0.10							
9.4 - 9.5	9.4	9.5	0.10		0.10					0.10	0.10	0.10							
9.5 - 9.65	9.5	9.65	0.15		0.15					0.15	0.15	0.15							
9.65 - 9.9	9.65	9.9	0.25		0.25					0.25	0.25	0.25							
9.9 - 10.0	9.9	10.0	0.10		0.10					0.10	0.10	0.10							
10.0 - 11.0	10.0	11.0	1.00		1.00					1.00	1.00	1.00							
11.0 - 11.2	11.0	11.2	0.20		0.20					0.20	0.20	0.20							
11.2 - 11.40	11.2	11.40	0.20		0.20					0.20	0.20	0.20							
11.40 - 11.60	11.40	11.60	0.20		0.20	0.20				0.20	0.20	0.20							
11.60 - 11.80	11.60	11.80	0.20		0.20	0.20				0.20	0.20	0.20							
11.80 - 11.90	11.80	11.90	0.10			0.10				0.10	0.10	0.10							
11.90 - 11.95	11.90	11.95	0.05			0.05				0.05	0.05	0.05							
11.95 - 12.00	11.95	12.00	0.05			0.05				0.05	0.05	0.05							
12.00 - 12.10	12.00	12.10	0.10							0.10	0.10	0.10							
12.10 - 12.15	12.10	12.15	0.05							0.05	0.05	0.05							
12.15 - 12.25	12.15	12.25	0.10							0.10	0.10	0.10							
12.25 - 12.40	12.25	12.40	0.15							0.15	0.15	0.15							
12.4 - 12.5	12.4	12.5	0.10								0.10	0.10							
12.50 - 12.60	12.50	12.60	0.10	Amsteldiepdijk							0.10	0.10							
12.60 - 12.70	12.60	12.70	0.10			0.10					0.10	0.10							
12.70 - 12.80	12.70	12.80	0.10			0.10					0.10	0.10							
12.80 - 12.85	12.80	12.85	0.05			0.05					0.05	0.05							
12.85 - 13.70	12.85	13.70	0.85			0.85					0.85	0.85							
13.70 - 13.80	13.70	13.80	0.10			0.10					0.10	0.10							
13.80 - 13.85	13.80	13.85	0.05			0.05					0.05	0.05							
13.85 - 13.95	13.85	13.95	0.10			0.10					0.10	0.10							
13.95 - 14.35	13.95	14.35	0.40			0.40					0.40	0.40							
14.35 - 14.84	14.35	14.84	0.49			0.49					0.49	0.49							
14.84 - 15.6	14.84	15.6	0.76	Wieringer Zeewering															
15.6 - 15.7	15.6	15.7	0.10									0.10		0.10					
15.7 - 15.8	15.7	15.8	0.10									0.10		0.10					
15.8 - 16.05	15.8	16.05	0.25									0.25		0.25					
16.05 - 16.15	16.05	16.15	0.10									0.10		0.10					
16.15 - 16.45	16.15	16.45	0.30									0.30		0.30					
16.45 - 16.8	16.45	16.8	0.35									0.35		0.35					
16.8 - 17.1	16.8	17.1	0.30								0.30	0.30		0.30					
17.1 - 17.3	17.1	17.3	0.20									0.20		0.20					
17.3 - 18.2	17.3	18.2	0.90									0.90		0.90					
18.20 - 18.40	18.20	18.40	0.20									0.20		0.20					
18.4 - 18.6	18.4	18.6	0.20								0.20	0.20		0.20					
18.6 - 18.70	18.6	18.70	0.10									0.10		0.10					
18.70 - 18.80	18.70	18.80	0.10								0.10	0.10		0.10					
18.80 - 19.00	18.80	19.00	0.20						0.20		0.20	0.20		0.20					
19.00 - 19.20	19.00	19.20	0.20						0.20		0.20	0.20		0.20					
19.20 - 19.4	19.20	19.4	0.20						0.20		0.20	0.20		0.20					
19.4 - 19.6	19.4	19.6	0.20						0.20			0.20		0.20					
19.6 - 19.75	19.6	19.75	0.15						0.15		0.15	0.15		0.15					
19.75 - 20.85	19.75	20.85	1.10									1.10							
20.85 - 20.95	20.85	20.95	0.10									0.10							
20.95 - 21.2	20.95	21.2	0.25									0.25							
21.2 - 21.3	21.2	21.3	0.10								0.10	0.10							
21.3 - 21.4	21.3	21.4	0.10									0.10							
21.4 - 21.5	21.4	21.5	0.10								0.10	0.10							
21.5 - 21.65	21.5	21.65	0.15									0.15							
21.65 - 21.75	21.65	21.75	0.10					0.10				0.10	0.10						
21.75 - 22.05	21.75	22.05	0.30																
22.05 - 22.275	22.05	22.275	0.22					0.225					0.225						
22.275 - 22.3	22.275	22.3	0.025				0.025					0.03							
22.3 - 22.4	22.3	22.4	0.10				0.10				0.10	0.10							
22.4 - 22.5	22.4	22.5	0.10				0.10				0.10	0.10							
22.5 - 22.6	22.5	22.6	0.10				0.10				0.10	0.10							
22.6 - 22.7	22.6	22.7	0.10				0.10				0.10	0.10							
22.7 - 23.10	22.7	23.10	0.40				0.40				0.40	0.40							
23.10 - 23.3	23.10	23.3	0.20																
23.3 - 23.35	23.3	23.35	0.05					0.05					0.05						
23.35 - 24.05	23.35	24.05	0.70																
24.05 - 24.1	24.05	24.1	0.05					0.05					0.05						
24.1 - 24.175	24.1	24.175	0.07					0.075					0.075						
24.175 - 24.2	24.175	24.2	0.025				0.025				0.025	0.025							
24.2 - 24.50	24.2	24.50	0.30				0.30				0.30	0.30							
24.5 - 24.60	24.5	24.60	0.10				0.10				0.10	0.10							
24.6 - 24.7	24.6	24.7	0.10				0.10				0.10	0.10							
24.7 - 24.8	24.7	24.8	0.10				0.10				0.10	0.10							
24.8 - 24.9	24.8	24.9	0.10				0.10				0.10	0.10							
24.9 - 24.95	24.9	24.95	0.05				0.05					0.05							
24.95 - 25.00	24.95	25.00	0.05									0.05							
25.00 - 25.40	25.00	25.40	0.40								0.40	0.40							
25.4 - 26.50	25.4	26.50	1.10									1.10							

Legenda	
	geen restlevensduur (voldoet niet in 2023)
	restlevensduur 0-12 jaar
	restlevensduur 25-48 jaar
	restlevensduur > 50 jaar
	minimaal 24 jaar (asfalt einde levensduur)