RAPPORT

Verkenningsfase versterking IJsselmeerdijk

Uitgangspuntennotitie (TUN)

Klant: Waterschap Zuiderzeeland

Referentie: BH5290-RHD-ZZ-XX-RP-Z-0008

Status: S0/C02

Datum: 22 februari 2021

Projectgerelateerd

HASKONINGDHV NEDERLAND B.V.

Jonkerbosplein 52
6534 AB NIJMEGEN
Water
Trade register number: 56515154

+31 88 348 70 00 **T**
+31 24 323 93 46 **F**
info@rhdhv.com **E**
royalhaskoningdhv.com **W**

Titel document: Verkenningsfase versterking IJsselmeerdijk

Ondertitel: IJMD TUN
Referentie: BH5290-RHD-ZZ-XX-RP-Z-0008
Status: C02/S0
Datum: 22 februari 2021
Projectnaam: Verkenningsfase versterking IJsselmeerdijk
Projectnummer: BH5290
Auteur(s): Sander Post, Don de Bake, Roel van de Laar, Jan Valk, Michiel Wolbers

Opgesteld door: Sander Post

Gecontroleerd door: Odelinde Nieuwenhuis

Datum: 22-02-2021

Goedgekeurd door: Odelinde Nieuwenhuis

Datum: 22-02-2021

Classificatie
Projectgerelateerd

Behoudens andersluidende afspraken met de Opdrachtgever, mag niets uit dit document worden verveelvoudigd of openbaar gemaakt of worden gebruikt voor een ander doel dan waarvoor het document is vervaardigd. HaskoningDHV Nederland B.V. aanvaardt geen enkele verantwoordelijkheid of aansprakelijkheid voor dit document, anders dan jegens de Opdrachtgever.

Inhoud

1.	**Inleiding en achtergrond**	**1**
1.1	De IJsselmeerdijk voldoet niet aan de veiligheidseisen	1
1.2	Een veilige, toekomstbestendige en goed ingepaste dijk	2
1.3	Proces verkenningsfase en uitgangspunten	2
1.3.1	Doel van deze notitie en de Ontwerploops	4
1.4	Detailniveau en relatie andere producten	4
1.4.1	Technische uitgangspunten	4
1.4.2	Duurzaamheid	5
1.4.3	Eisen en wensen vanuit omgeving en conditionering	5
1.5	Leeswijzer	5
2.	**Algemene uitgangspunten**	**6**
2.1	Coördinaten	6
2.2	Niveaus/peilen	6
2.3	Software en bestandformaten	6
2.4	Afkortingen	7
2.5	Definities	8
3.	**De IJsselmeerdijk**	**10**
3.1	Dijktraject en projectgebied	10
3.2	Huidige situatie	10
3.2.1	Beschrijving Traject 1 – Noordelijk deel (Meerdijk)	10
3.2.2	Beschrijving Traject 2 – Zuidelijk traject (Baaidijk)	11
3.2.3	Dijkopbouw en bekledingsopbouw	11
3.3	Mogelijke meekoppelkansen en status	12
4	**Veiligheidsopgave waterveiligheid**	**16**
4.1	Conclusies waterveiligheidsopgave	16
4.2	Steenbekleding	16
4.2.1	Stabiliteit Zetsteen (ZST)	16
4.2.2	Stabiliteit teenconstructie	17
4.3	Grasbekleding (incl. hoogte-opgave)	17
4.3.1	Hoogte- Grasbekleding erosie kruin en binnentalud GEKB	17
4.3.2	Grasbekleding afschuiven buitentalud (GEBU)	18
4.4	Stabiliteit	20
4.4.1	Macrostabiliteit buitenwaarts (STBU)	20
4.4.2	Macrostabiliteit binnenwaarts (STBI)	20
4.5	Havendammen	21
4.5.1	Maximacentrale	22

4.5.2 Flevokust 22
4.5.3 Flevo Marina havendam 23
4.5.4 Houtribhoekstrand 23
4.5.5 Parkhaven schiereiland A 23
4.5.6 Parkhaven havendam B 24

5 Ontwerpen met het OI2014 25

5.1 Normering 25
5.2 Faalkansruimte 25
5.3 Detailniveau verkenningsfase 27
5.4 Dijkvakken 28
5.5 Ontwerplevensduur dijkversterking 35
5.6 Overstromingskans gedurende levensduur 36
5.7 Innovaties 36

6 Technische ontwerpuitgangspunten (belastingen) 41

6.1 Hydraulische belastingen 41
6.1.1 IJsselmeerpeil 41
6.1.2 Wind 42
6.1.3 Waterstanden en golven 42
6.1.4 Stormduur en waterstandsverloop 43
6.1.5 Recente aanpassingen aan belastingmodel en databases 44
6.1.6 Invloed voorland op belastingen 45
6.1.7 Invloed mogelijke systeemmaatregelen op belastingen 45
6.1.8 Rekenmethode Hydraulische belastingen 47
6.2 Bodemdaling, zetting en klink 47
6.3 Grondwaterstanden 48
6.4 Verkeersbelasting 49
6.5 Aardbevingsbelasting 49
6.6 Overige belastingen 49

7 Technische ontwerpuitgangspunten (sterkte) 51

7.1 Inleiding 51
7.2 Geotechniek 51
7.2.1 Binnenwaartse stabiliteit macrostabiliteit (STBI) 51
7.2.1.1 Faalkanseis en veiligheidsfactoren 51
7.2.1.2 Grondparameters 52
7.2.1.3 Freatische lijn 53
7.2.1.4 Stijghoogte watervoerende zandlagen 53
7.2.1.5 Maatgevend glijvlak 53
7.2.1.6 Schematisering dijkopbouw en ondergrond 54

7.2.1.7 Schematiseringsfactor 54
7.2.1.8 Macrostabiliteit in combinatie met significante golfoverslag 54
7.2.1.9 Rekenmodellen Macrostabiliteit Binnenwaarts 55
7.2.2 Buitenwaartse macrostabiliteit (STBU) 55
7.2.2.1 Faalkanseis en veiligheidsfactoren 55
7.2.2.2 Grondparameters, ondergrondschematisatie en schematiseringsfactor 55
7.2.2.3 Freatische lijn en stijghoogte 55
7.2.2.4 Maatgevend glijvlak 55
7.2.2.5 Rekenmodel Macrostabiliteit Buitenwaarts 55
7.2.3 Microstabiliteit en Gras Afschuiven Binnentalud (STMI en GABI) 56
7.2.4 Piping (STPH) 57
7.3 Bekledingen 57
7.3.1 Asfaltbekledingen (Asfalt Golfklap AGK en Asfalt Water Overdruk AWO) 57
7.3.1.1 Golfklappen (AGK) 57
7.3.1.2 Wateroverdrukken (AWO) 58
7.3.2 Graserosie buitentalud (GEBU) 58
7.3.3 Afschuiven buitentalud (GABU) 59
7.3.4 Hoogte – Graserosie kruin en binnentalud (GEKB) 59
7.3.5 Stabiliteit steenzetting (ZST) 60
7.3.6 Stabiliteit teenbescherming 61
7.4 Kunstwerken (HTKW, BSKW, PKW, STKWP) 61
7.4.1 Uitgangspunten langsconstructies (STKWI) 61
7.5 Voorland; afschuiven voorland (VLAF), Golfafslag voorland (VLGA) Zettingsvloeiing voorland (VLZV) 62
7.6 Niet-waterkerende objecten (NWO) 62
7.7 Havendammen 62

8 Duurzaamheid 63
8.1 Circulariteit 63
8.2 Milieu-impact 63
8.3 Biodiversiteit 64

9 Eisen en wensen vanuit omgeving en conditionering 65
9.1 Beheer en onderhoud 65
9.2 Ruimtelijke kwaliteit 67
9.3 Natuur 68
9.4 Cultuurhistorie en archeologie 70
9.5 NGE 71
9.6 Bodem en grondwater 71
9.7 Kabels en leidingen 72

9.8 Wegen en bereikbaarheid 74
9.9 Grondeigendom en vastgoed 74
9.10 Morfologie 77

10 Referenties 78

1. Inleiding en achtergrond

1.1 De IJsselmeerdijk voldoet niet aan de veiligheidseisen

De IJsselmeerdijk beschermt de diepe Flevopolder tegen het water van het IJsselmeer. In 2018 heeft Waterschap Zuiderzeeland (hierna afgekort als: Zuiderzeeland) beoordeeld of de IJsselmeerdijk zo sterk is als de waterveiligheidsnormen voorschrijven. Dat blijkt niet zo te zijn. Sinds 2017 gelden voor de waterkeringen in Nederland nieuwe wettelijke waterveiligheidsnormen. Deze norm is voor Flevoland strenger dan daarvoor om in te spelen op de gevolgen van klimaatverandering en om de grotere hoeveelheid inwoners en de hogere economische waarde in Flevoland beter te beschermen. De waterkering voldoet ruim niet aan de nieuwe strengere norm die eraan gesteld is. Dat wil niet zeggen dat er op dit moment acuut een onveilige situatie is. Het betekent wel dat een dijkversterking nodig is. Het is de wettelijke taak van het waterschap om de keringen aan de normen te laten voldoen. Zuiderzeeland is daarom in 2019 gestart met dit meerjarige project Versterking IJsselmeerdijk.

De IJsselmeerdijk is de zwaarst aangevallen dijk van de Flevopolder. Dat komt door de ligging, waarbij bij noordwesterstorm de wind over de volle lengte van het IJsselmeer waterstanden en golven tegen de dijk opzet. De dijk beschermt de hele Flevopolder (Oostelijk en Zuidelijk Flevoland), omdat sinds 2019 de Knardijk tussen Oostelijk en Zuidelijk Flevoland geen officiële compartimenteringskering meer is. Doordat de polder circa 5 meter lager ligt dan het IJsselmeerpeil, leidt een dijkdoorbraak tot een vrijwel volledige overstroming van de polder. Het opnieuw droogmalen van polder duurt vele maanden. Het is niet overdreven om te stellen dat een dijkdoorbraak leidt tot een langdurig volledig onbewoonbaar gebied en tot mogelijk veel slachtoffers. De polder heeft dan ook een strenge waterveiligheidsnorm.

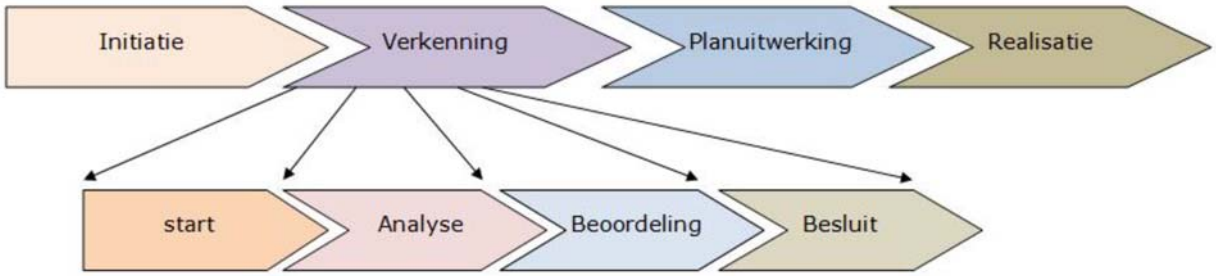
De IJsselmeerdijk is 17,6 km lang en ligt aan de noordwestzijde van Oostelijk Flevoland. De waterkering loopt van de Ketelbrug in het noorden tot aan de Houtribdijk in Lelystad (zie onderstaande figuur).

Figuur 1-1: Plangebied met tracé van de te versterken kering (blauw gestippelde lijn)

1.2 Een veilige, toekomstbestendige en goed ingepaste dijk

Het projectdoel is het realiseren van een veilige én toekomstbestendige dijk. De nieuwe dijk wordt goed ingepast in de omgeving met behoud van de huidige ruimtelijke kwaliteit en er wordt nadrukkelijk gezocht naar de mogelijkheden voor het inpassen van innovatieve en duurzame oplossingen. De dijk dient te worden gerealiseerd op basis van een bestuurlijk en maatschappelijk gedragen plan.

Momenteel bevindt het project zich in de verkenningsfase, volgens de fasering uit het landelijke Hoogwaterbeschermingsprogramma (HWBP). De planning is nu dat de verkenning halverwege 2022 wordt afgerond en resulteert in een Voorkeursbeslissing (VKB). De periode 2022- 2024 staat gepland voor de planuitwerkingsfase, in de periode hierna volgt de realisatiefase.



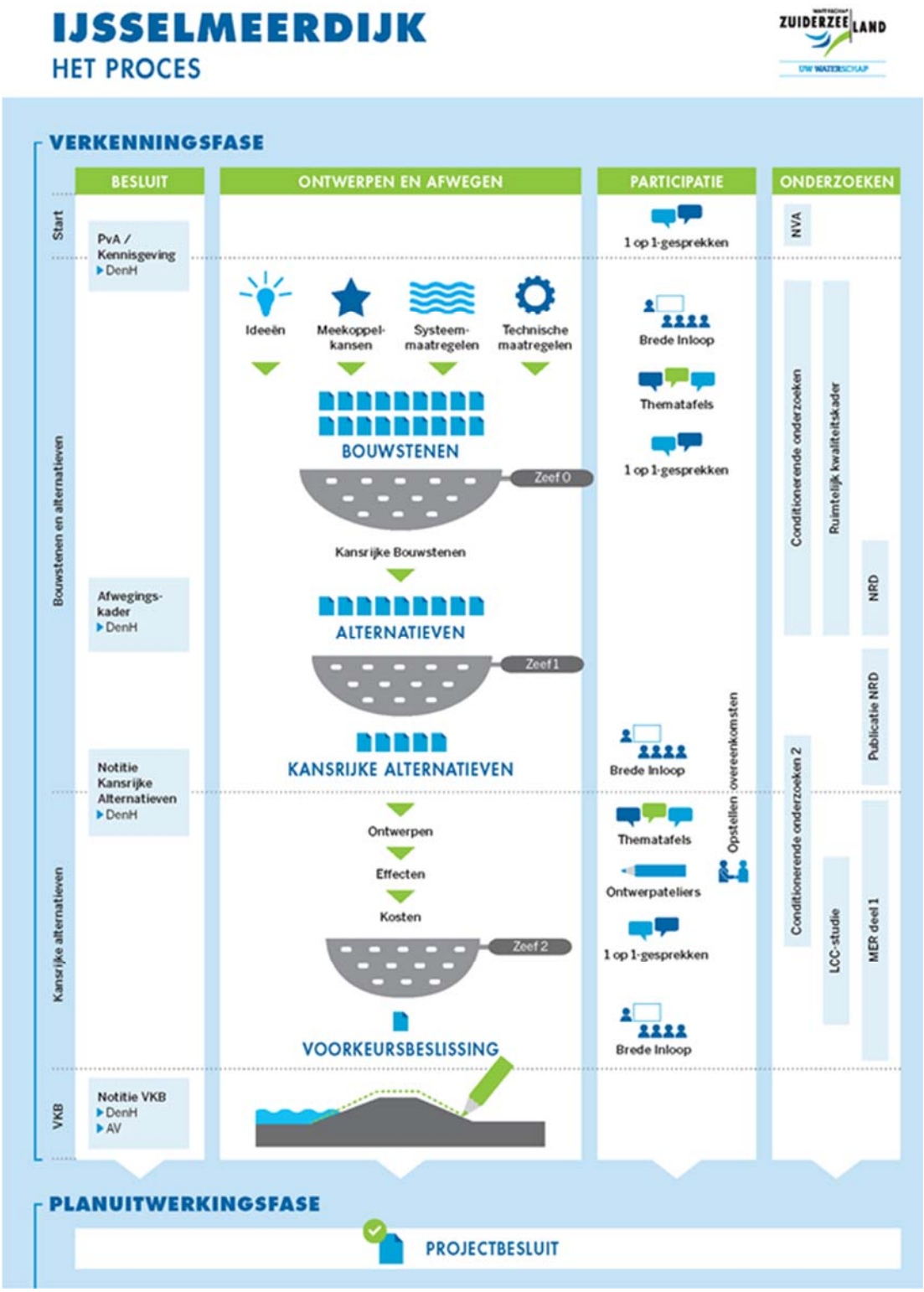
Figuur 1-2: Fasering HWBP dijkversterking project

1.3 Proces verkenningsfase en uitgangspunten

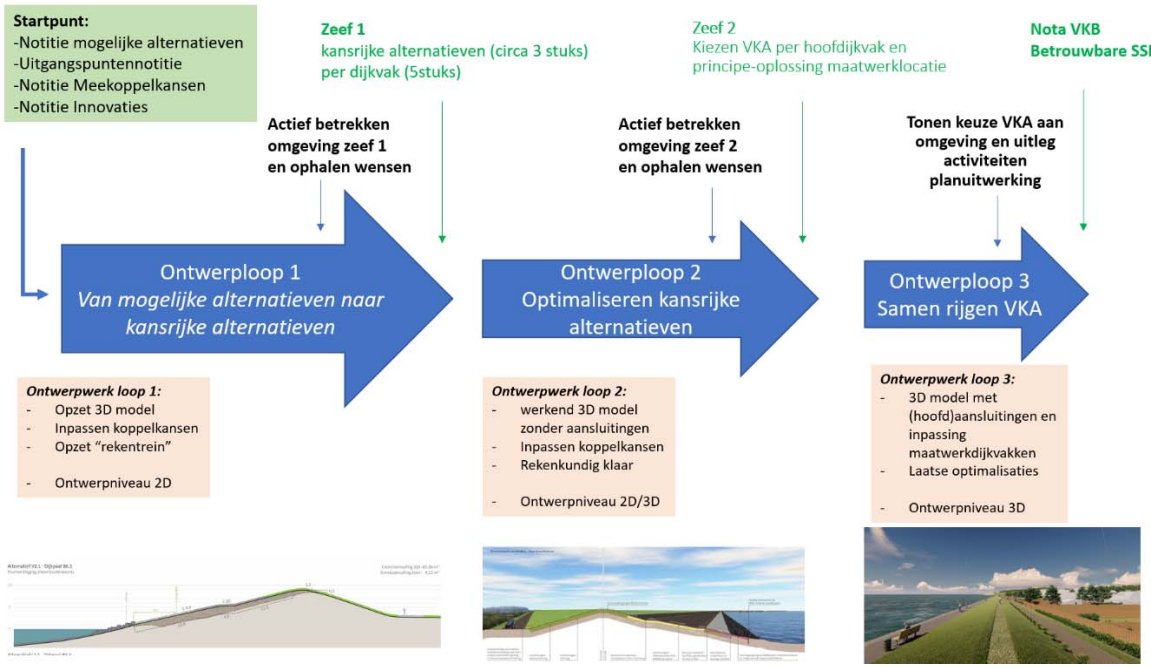
Het ontwerpproces wordt doorlopen conform de HWBP-systematiek (zie Figuur 1-3). Om een goede afweging tot alternatieven en uiteindelijk het voorkeursalternatief te kunnen maken, wordt het ontwerp van de dijk door meerdere “zeven” gehaald. In elke zeef (ontwerpstap) gaan alleen de kansrijke bouwstenen/alternatieven door de zeef heen en blijven niet kansrijke bouwstenen/alternatieven achter. In de verkenningsfase zijn er drie zeef-momenten. Tussen de zeefmomenten wordt het ontwerp verder uitgewerkt. Hierbij onderscheiden we de volgende stappen:

1. Selectie kansrijke bouwstenen (zeef 0)
2. Samenstellen mogelijke alternatieven;
3. Selectie kansrijke alternatieven (zeef 1);
4. Uitwerking kansrijke alternatieven;
5. Voorkeursbeslissing (zeef 2).

Om het (technisch) ontwerpproces efficiënt en effectief in te steken, wordt in dit project gewerkt met drie ontwerploops. Een eerste ontwerploop om mogelijke alternatieven dusdanig uit te werken dat de keuze naar kansrijke alternatieven per dijkvak (zeef 1) gemaakt kan worden. In een tweede ontwerploop worden de kansrijke alternatieven verder uitgewerkt en geoptimaliseerd, zodat de afweging tot een voorkeursalternatief (VKA) per dijkvak kan worden gemaakt (zeef 2). In de derde en laatste ontwerploop worden voorkeursalternatieven per dijkvak verbonden tot één voorkeursalternatief voor het gehele dijktraject. Dit ontwerpproces is weergegeven in Figuur 1-4.



Figuur 1-3: Proces verkenningsfase IJsselmeerdijk



Figuur 1-4: Ontwerpproces verkenningsfase Dijkversterking IJsselmeerdijk

1.3.1 Doel van deze notitie en de Ontwerploops

De voorliggende uitgangspuntennotitie heeft als doel om de belangrijkste uitgangspunten die we hanteren tot en met zeef 1 (selectie kansrijke alternatieven) vast te leggen. Deze uitgangspunten worden gebruikt in ontwerploop 1 om de mogelijke alternatieven voldoende uit te werken om zo een betrouwbare afweging te kunnen maken in de selectie van de kansrijke alternatieven (zeef 1).

Voor de uitwerking van ontwerploop 2 (uitwerking kansrijke alternatieven) en ontwerploop 3 (samenvoegen kansrijke alternatieven per dijkvak tot één voorkeursalternatief) wordt de uitgangspuntennotitie geactualiseerd met meer gedetailleerde uitgangspunten. Zo kan het conditionerend veldwerk wat medio 2021 staat ingepland leiden tot nieuwe of meer gedetailleerde uitgangspunten.

Naast technische uitgangspunten zijn in deze notitie ook uitgangspunten voor het ontwerp die voortvloeien uit wensen voor het toekomstige beheer, ambities betreffende duurzaamheid, wensen vanuit het ruimtelijk kwaliteitskader (RKK) en wensen van stakeholders opgenomen.

Specifieke uitgangspunten die gebruikt gaan worden in de SSK- en LCC-ramingen van de mogelijke alternatieven zijn niet opgenomen in deze notitie. Deze uitgangspunten worden tijdens het ontwerpproces in ontwerploop 1 opgesteld en opgenomen in de notitie Kansrijke Alternatieven.

1.4 Detailniveau en relatie andere producten

1.4.1 Technische uitgangspunten

In deze notitie worden de belangrijkste technische uitgangspunten voor het ontwerpproces tot en met zeef 1 beschreven. Deze uitgangspunten komen vooral voort uit eerdere analyses en rapporten, die in het kader van de dijkversterking zijn uitgevoerd en opgesteld. In de startfase van de verkenning is een veiligheidsanalyse uitgevoerd en heeft een aanvullende veiligheidsanalyse plaatsgevonden. In deze notitie wordt vaak verwezen naar bevindingen en uitgangspunten uit deze analyses. Specifiek voor de

hydraulische belastingen loopt momenteel een onderzoek naar optimalisaties. Hierbij wordt kennis van het waterschap, Deltares, Rijkswaterstaat WVL en RHDHV/HKV gebundeld om tot breed gedragen uitgangspunten te komen. In deze notitie wordt specifiek aangegeven of en zo ja hoe aangepaste/ geoptimaliseerde uitgangspunten worden toegepast. Bij de technische uitwerking in ontwerploop 1 van verkenningsfase ligt de focus op onderscheidende aspecten tussen verschillende mogelijke alternatieven. De meeste ontwerpoptimalisaties worden toegepast in ontwerploop 2.

Eventuele uitgangspunten die genomen worden in het ontwerpproces van ontwerploop 1 en niet zijn vastgesteld in voorliggende rapportage worden specifiek opgenomen in de notitie Kansrijke Alternatieven. In ontwerploop 1 worden SSK- en LCC-ramingen opgesteld van de mogelijke alternatieven en deze ramingen vormen een onderdeel in een gedegen keuze tot kansrijke alternatieven. Specifieke uitgangspunten van deze SSK- en LCC-ramingen zijn niet opgenomen in deze notitie. Deze uitgangspunten worden in ontwerploop 1 opgesteld en opgenomen in de notitie Kansrijke Alternatieven.

1.4.2 Duurzaamheid

In deze notitie zijn in Hoofdstuk 8 ook de duurzaamheidsambities van dit project opgenomen. Het thema duurzaamheid zal een prominente rol krijgen in het ontwerpproces. Het waterschap en RHDHV/ HKV hebben elk een duurzaamheidscoördinator aangewezen die hiervoor zullen zorgdragen. In de ontwerploops zal gebruik gemaakt worden van een innovatief duurzaamheidsdashboard, waarbij wordt gestreefd naar een zo duurzaam mogelijk dijkversterkingsontwerp.

1.4.3 Eisen en wensen vanuit omgeving en conditionering

In deze notitie zijn in Hoofdstuk 9 ook eisen/wensen opgenomen die zijn oorsprong vinden in het ruimtelijk kwaliteitskader (RKK) [4] of voorvloeien uit beheer en onderhoud, het omgevingsproces en de uitgevoerde conditioneringsonderzoeken. Deze eisen en wensen vormen belangrijke input voor het technisch ontwerp, waar zoveel mogelijk rekening met deze eisen en wensen zal worden gehouden. Het zou echter best kunnen dat conflicten met andere (waterveiligheids)eisen en wensen naar voren komen tijdens het ontwerpproces en dat niet al deze eisen en wensen derhalve vervuld kunnen worden. Belangrijke afwegingen tussen conflicterende eisen en wensen worden, in overleg met het waterschap, middels het afweegkader gemaakt in het ontwerpproces.

1.5 Leeswijzer

Voorliggende notitie bestaat uit de volgende hoofdstukken:

- Eerst worden in Hoofdstuk 2 de algemene uitgangspunten kortbondig opgesomd.
- In Hoofdstuk 3 worden de belangrijkste kenmerken van het gebied toegelicht.
- Vervolgens wordt in Hoofdstuk 4 ingegaan op de veiligheidsopgave per faalmechanisme.
- In Hoofdstuk 5 worden de algemene ontwerpuitgangspunten behandeld.
- In Hoofdstuk 6 komen de uitgangspunten over de technische ontwerpbelastingen aan bod.
- Hoofdstuk 7 behandelt de belangrijkste uitgangspunten aan de sterkte kant van de dijk.
- In Hoofdstuk 8 zijn de ambities en uitgangspunten voor duurzaamheid opgenomen.
- Deze notitie sluit in Hoofdstuk 9 af met de uitgangspunten vanuit omgeving en conditionering.

2. Algemene uitgangspunten

2.1 Coördinaten

Als coördinatenstelsel wordt het volgende stelsel gebruikt:

Netherlands, Rijksdriehoeksmeting datum, Oblique Stereopgraphic, RDnew:EPSG 28992

2.2 Niveaus/peilen

Alle niveaus worden ten opzichte van N.A.P. weergegeven. De volgende notatie wordt gebruikt NAP +/- xx,xx m.

2.3 Software en bestandformaten

Om de continuïteit van het ontwerp te waarborgen is het belangrijk om vast te leggen in welke software (versies) en bestandsformaten gewerkt wordt. Zie Tabel 2-1.

Tabel 2-1: Software en bestandsformaten

Software	Doel	Bestandsformaat
Acrobat Adobe, Microsoft Word	Rapportages	.pdf
AutoCAD Civil 3D 2018	3D ontwerp	.dwg/.dxf
AutoCAD Navisworks 2018	BIM/Hoeveelheden bepaling	.nwc/.nwf
AutoCAD Infraworks	Illustraties/Weergaves	
D-Stability	Geotechnische berekeningen	
Plaxis	langsconstructies	
Plaxflow		
QGis 3.2.2. / ArcMAP	Kaarten	.mxd en geodatabases
Inkscape	Illustratie/Figuren	.svg
Google Earth	Google Earth Dynamische kaarten	.kmz
Hydra-NL versie 2.3.5 [1]	Hydraulische randvoorwaarden zoals gerapporteerd in de voorverkenning [9]	-
Hydra-NL versie 2.8 [2]	Aanvullende berekeningen i.h.k.v. eventuele ontwerpexercities in de verkenningsfase	-
BM-Gras versie 19.1.2	Grasbekledingen	
BM-Asfalt golfklap versie 17.1.1.4941	Asfaltbekledingen (golfklap)	
Steentoets versie 19.1.1.1	Steenzettingen	.xlsx
Autodesk Recap	Point Clouds	.rcp
Unity3D model	Interactieve 3d visuals	.exe
Waterstandsverloop versie 3.0.1	Waterstanden verlopen	

1) Als onderdeel van de WBI beoordeling in de voorverkenning om de scope vast te stellen zijn hydraulische randvoorwaarden voor de verkenningsfase afgeleid o.b.v. Hydra NL 2.3.5 (conform OI2014 versie 4).
2) Laatste (projectversie) van Hydra-NL: versie 2.8.

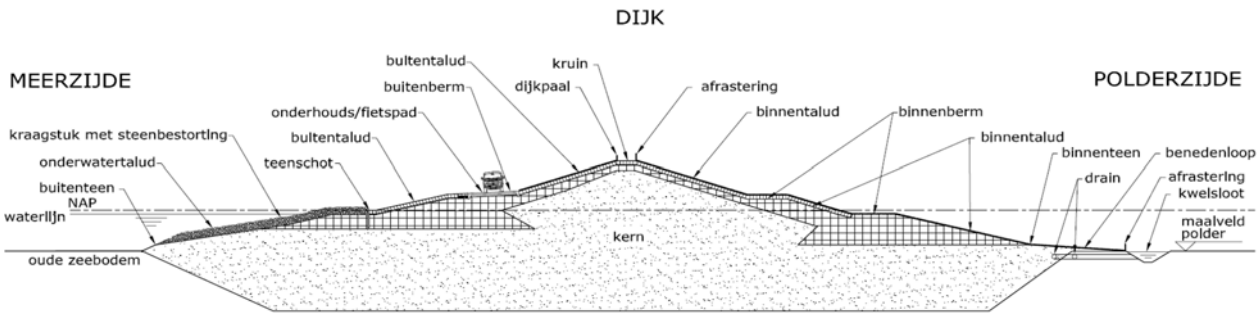
2.4 Afkortingen

Tabel 2-2: overzicht van gebruikte afkortingen

DTB	Digitaal Topografisch Bestand
BGT	Basisregistratie Grootschalige Topografie
HWBP	Hoogwaterbeschermingsprogramma
ILT	Inspectie Leefomgeving en Transport
KPR	Kennisplatform Risico Benadering
IJMD	IJsselmeemeerdijk
LT3(+)	Landelijke Toetsronde – derde (verlengde)
N2000	Natura 2000
ZZL	Waterschap Zuiderzeeland
OI	Ontwerp Instrumentarium
PDOK	Datasets van overheid met actuele Geo-informatie (https://www.pdok.nl/)
TRWD	Technisch Rapport Waterspanningen bij Dijken
VKA	Voorkeursalternatief
WBI	Wettelijk Boordelings Instrumentarium
Faalmechanismen	
AGK	Asfaltbekleding - Golfklappen
AWO	Asfaltbekleding – Wateroverdrukken
GABI	Hoogte-Grasbekleding afschuiven binnentalud
GABU	Grasbekleding afschuiven buitentalud
GEBU	Grasbekleding erosie buitentalud
GEKB	Hoogte-Grasbekleding erosie kruin en binnentalud
NWO	Niet waterkerende objecten
STKW-l	Stabiliteit kunstwerken - langsconstructies
STKW-p	Stabiliteit kunstwerken - puntconstructies
STMI	Microstabiliteit
STPH	Piping
STBI	Macrostabiliteit binnenwaarts
STBU	Macrostabiliteit buitenwaarts
VLAF	Afschuiving voorland
VLGA	Golfafslag voorland
VLZV	Zettingsvloeiing voorland
ZST	Steenbekleding

2.5 Definities

In Tabel 2-3 zijn de toegepaste definities weergegeven. Deze zijn visueel weergegeven in Figuur 2-1.



Figuur 2-1: Visualisatie definities conform SOR 2021 [7]

Tabel 2-3: Overzicht definities

Begrip	Definitie
Buitenwater	Het buitenwater kan het dijklichaam of kunstwerk belasten (dagelijks en onder maatgevende condities) en kan bij het falen van de dijk leiden tot inundatie van het achterland.
Voorland	Maaiveld of bodem aan de buitenzijde van de dijk dat een significante reductie van de windgolfbelasting geeft door zijn relatief hoge ligging.
Buitenteen	Het snijpunt van het buitentalud met voorland of buitenwater/onderwatertalud.
Buitentalud benedenbeloop	Het buitentalud is het talud dat zich aan de IJsselmeerzijde bevindt. Het deel onder de buitenberm heet het benedenbeloop.
Buitenberm	Een relatief vlak deel van het buitentalud om het dijklichaam extra steun te bieden en/of om de golfoploop te reduceren
Buitentalud bovenbeloop	Het deel van het buitentalud dat zich boven de buitenberm bevindt en aan de kant van het buitenwater van de kruin, heet het bovenbeloop.
Buitenkruinlijn	De lijn die verkregen wordt door de punten aan de bovenzijde van het buitentalud te verbinden.
Kruin	Hoogste punt van de dijk, relatief vlak deel aan de bovenzijde van de dijk, tussen buitentalud en binnentalud.
Binnenkruinlijn	De lijn die verkregen wordt door de punten aan de bovenzijde van het binnentalud te verbinden.
Bovenzijde binnentalud	De bovenzijde van het binnentalud bevindt zich tussen de kruin en de binnenberm.
Binnenberm	Een vlakker gelegen deel aan de binnenzijde van het dijklichaam bevindt. De binnenberm biedt vaak extra stabiliteit aan de dijk en wordt vaak gebruikt als een binnendijks beheerpad
Onderzijde binnentalud	Het gedeelte tussen de binnenberm en het achterland of de watergang.
Binnenteen	Het snijpunt tussen binnentalud en watergang of achterland
Insteek	Het knikpunt tussen 2 taludhellingen.
Watergang	Een verdiept gedeelte aan de binnenzijde van de waterkering die permanent water bevat.
Achterland/Polderzijde	Het terrein dat beschermd wordt door de dijk.
Greppel	Onderbreking op het binnentalud/berm om hemelwater af te voeren of op te vangen.
Dijklichaam	Het gedeelte tussen de buitenteen en de binnenteen.
Buitentalud	Buitenzijde van de dijk tussen voorland of buitenwater en de kruin
Binnentalud	Binnenzijde van de dijk tussen kruin en watergang of achterland

Kunstwerk	Onderbreking of doorsnijding van het dijklichaam door een constructie in de waterkering, bedoeld om water of schepen door te laten. Het kunstwerk moet tevens waterkerend zijn (omdat het in de waterkering ligt).
Buitenzijde	De zijde van de waterkering waar het buitenwater zich bevindt
Binnenzijde	De zijde van de waterkering waar het achterland zich bevindt
Natura 2000 lijn	De grens waar het Natura2000 gebied start. Voor het landelijke dijk traject ligt deze grens op de buitenteen van de dijk.
Kernzone	Het centrale gedeelte van het dijklichaam, het betreft de zone welke minimaal benodigd is om de waterveiligheid te garanderen. Voor deze dijk ligt de kernzone tussen de kreukelberm en de binnenteen van de dijk
NWO	Niet waterkerend object. Object op of in de dijk dat geen waterkerende functie heeft, zoals kabels en leidingen, gebouwen en beplanting
Onderwatertalud	Onderdeel van het buitentalud dat zich in/onder water bevindt
Teenconstructie	Constructie aan de onderzijde van het buitentalud als overgang van de steenbekleding naar het voorland of de teenbestorting
Drainage	Stelsel van doorlatende buizen dat kwelwater dat door de dijk stroomt afvoert naar de kwelsloot en voor voldoende drooglegging zorgt van het benedenbeloop om regulier beheer en onderhoud mogelijk te maken
Langsconstructie	Type kunstwerk in een waterkering welke een bijdrage levert aan de stabiliteit van de waterkering zoals kademuren, damwanden en stabiliteitsschermen

3. De IJsselmeerdijk

3.1 Dijktraject en projectgebied

Normtraject 8-3 ligt in oostelijk Flevoland, door de Knardijk gescheiden van zuidelijk Flevoland, en strekt zich uit van de Ketelbrug (km 17,6) in het noorden tot aan de Knardijk in het zuiden (km 5,1). De ondergrens van dit normtraject is 1/10.000 jaar. Het dijktraject beschermt van de Ketelbrug tot de Houtribdijk tegen overstroming vanuit het IJsselmeer en van de Houtribdijk tot aan de Knardijk tegen overstroming vanuit het Markermeer. In deze rapportage wordt alleen het dijktraject direct grenzend aan het IJsselmeer beschouwd, het deel van normtraject 8-3 dat grenst aan het Markermeer is dus niet in beschouwd. Het waterschap heeft gekozen om het Markermeerdijk-deel van dit normtraject in deze fase nog niet mee te nemen, aangezien dit een vrij complex deeltraject is en het waterschap eerst ervaring met een HBWP-project op wenst te doen met een minder complex deel van de dijk.

Het traject van de Ketelbrug tot aan de Houtribdijk is 17,6 kilometer lang en is grofweg in twee stukken in te delen, namelijk:

- Het landelijke noordelijk deel (km 17,6 tot km 31,6) met zware golfaanval, gelegen op het noord(noord)westen;
- Het zuidelijke bebouwde deel (km 31,6 tot km 0,0) met golfluwte door de Houtribdijk, gelegen op het (west)noordwesten.

3.2 Huidige situatie

3.2.1 Beschrijving Traject 1 – Noordelijk deel (Meerdijk)

Het noordelijke deel kenmerkt zich door strakke lijnen en een homogene opbouw, zie Figuur 3-1. De dijk is aan de buitenzijde voorzien van een harde bekleding tot halverwege het boventalud. Vanaf de waterbodem tot halverwege het onderwatertalud (begin kraagstuk) bestaat het dijktalud uit zand met slib. Het kraagstuk is afgestort met stortsteen. Vanaf de dijkteen ligt een steenzetting van basalt en hierboven ligt een berm met een asfaltbekleding. Boven de berm ligt een zetting van betonzuilen waarboven vervolgens de grasbekleding op het boventalud begint. De kruin, het binnentalud en de binnenberm zijn ook voorzien van een grasbekleding.

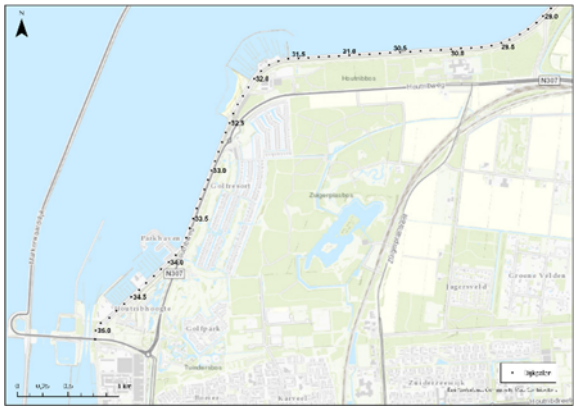
Dit deel van het dijktraject kan tijdens maatgevende condities worden blootgesteld aan een hoge golfbelasting vanuit het IJsselmeer, omdat een relatief grote strijklengte tot aan de Afsluitdijk mogelijk is bij bepaalde windrichtingen. Binnendijks bevindt zich landelijk gebied, welke deels door de A6 van de dijk wordt gescheiden. Langs het noordelijk deel bevinden zich bovendien vanaf de Ketelbrug tot km 24,0 met regelmatige tussenafstanden windturbines in het IJsselmeer op ongeveer 25 m uit de buitenteen. Ter hoogte van km 25.7 tot km 26.1 bevindt zich op korte afstand voor de dijk de Maximacentrale. Lokaal is hier de dijkkruin verlaagd, hier bevindt zich het landhoofd van de verkeersbrug van de centrale en de Gasuniekruising. Ter hoogte van km 26,7 tot 27.2 ligt de buitendijkse overslaghaven Flevokust direct tegen het dijlichaam aan. Er bevinden zich geen waterkerende kunstwerken in dit deel van het traject.

Figuur 3-1: Ligging en impressie noordelijk deel

3.2.2 Beschrijving Traject 2 – Zuidelijk traject (Baaidijk)

Het zuidelijke dijktraject onderscheidt zich qua uiterlijk en opbouw niet veel van het noordelijk deel. Vanaf de Flevo Marina haven is de kruin echter circa 1,20 m lager en boven de asfaltberm is geen steenzetting van betonzuilen meer aanwezig. Dit verschil is te verklaren doordat dit dijktraject zich in de luwte bevindt van de Houtribdijk, de dam die Flevoland verbindt met het Noord-Hollandse vasteland. De golfbelasting tijdens maatgevende condities is voor dit dijktraject significant lager dan voor het noordelijke deel.
Binnen dit dijktraject ligt ter hoogte van km 31,8 de jachthaven Flevo Marina en een aangrenzend strand, ter hoogte van km 34,4 bevindt zich Parkhaven. Parkhaven bestaat grofweg uit een havendam met woonhuizen, buitendijks voorland met bebouwing en een recreatiehaven, welke wordt beschermd door een relatief brede havendam.

Binnendijks van dit dijktraject bevindt zich de overgangszone van het landelijke gebied naar de bebouwde kom van Lelystad. Op een deel van de binnenberm is de provinciale weg N307 aanwezig. Er bevinden zich geen waterkerende kunstwerken in dit deel van normtraject 8-3. In Figuur 3-2 is de ligging van het zuidelijke deeltraject weergegeven.

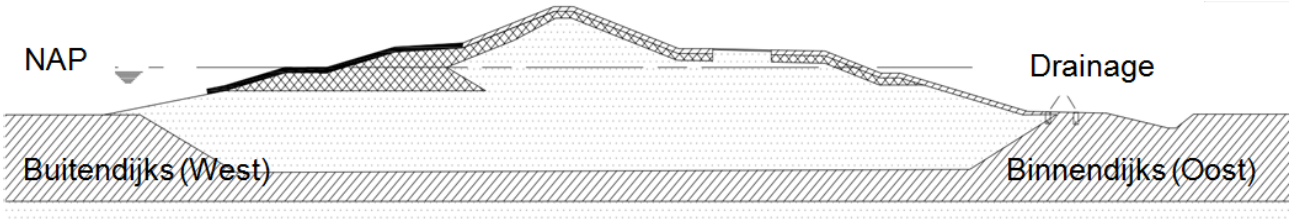


Figuur 3-2: Ligging zuidelijke deeltraject

3.2.3 Dijkopbouw en bekledingsopbouw

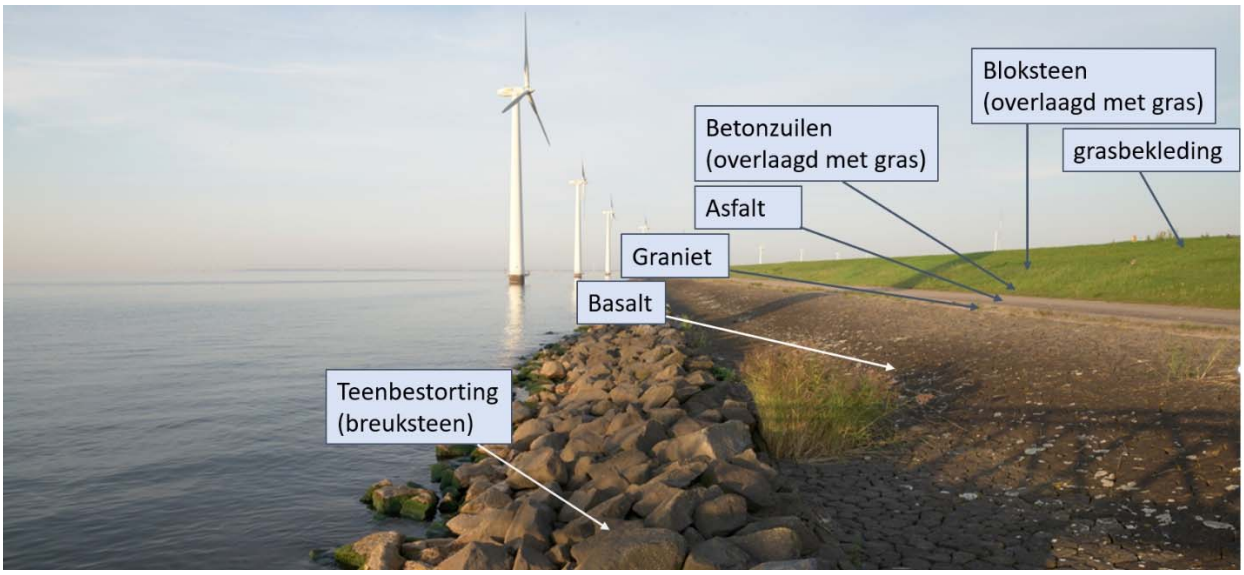
De dijk is in de periode 1950-1957 aangelegd op een zandcunet. Hiervoor zijn de holocene kleilagen afgegraven. Van de holocene laag is circa 1 m achtergebleven om een waterdichte afsluiting te vormen tussen de dijkkern en de pleistocene ondergrond. De dijkkern is opgebouwd uit zand achter een perskade van keileem. Het zandlichaam is afgedekt met keileem met daarover een kleilaag met gras (zie Figuur

3-3). Binnendijks is vrijwel overal een drainage en een kwelsloot aanwezig. De drainage wordt frequent geïnspecteerd en onderhouden.



Figuur 3-3: Kenmerkende dijkopbouw IJsselmeerdijk

Dijkbekleding
De dijkbekleding van de IJsselmeerdijk is grotendeels uniform over het gehele traject. Bij de buitenteen van de dijk zorgt een teenbestorting van breuksteen voor bescherming en stabiliteit van het teenschot (hout en beton) en de bovenliggende steenzetting op het ondertalud. Deze steenzetting bestaat uit natuurlijk basalt en graniet. Ook onder de ophoging van Flevokust, Houtribhoekstrand en de aansluitingen naar de Flevo Marinahaven, Parkhaven en Deko Marina is deze (steen)bekleding van de IJsselmeerdijk nog intact. Op de onderhoudsberm van de dijk ligt een asfaltbekleding. Boven de berm zijn betonzuilen en bloksteen gezet, welke zijn overlaagd met gras. Het resterende deel van het boventalud is bekleed met gras. Op de kruin en het binnentalud is vrijwel overal een grasbekleding aanwezig. Lokaal ligt er op het binnentalud een met klinkers bekleed inspectiepad, lokaal ligt asfalt. In Figuur 3-4 is een impressie van de op het buitentalud van de IJsselmeerdijk aanwezige bekleding weergegeven.



Figuur 3-4: Kenmerkende dijkbekledingsopbouw IJsselmeerdijk

3.3 Mogelijke meekoppelkansen en status

De potentiële meekoppelkansen in het project versterking IJsselmeerdijk (IJMD) komen voort uit ideeën, wensen, eisen, meningen en visies van betrokken partijen. Deze zijn/ worden door het waterschap Zuiderzeeland en door HaskoningDHV/HKV geïnventariseerd op basis van:

- 1 op 1 gesprekken met stakeholders;
- dijkavonden;
- ontwerp- en thematafels;

- zienswijzen op de notitie Reikwijdte en Detailniveau;
- tevens kunnen meekoppelkansen volgen uit een analyse van raakvlakprojecten (bijvoorbeeld door synergie in gezamenlijke uitvoering te zoeken).

De potentiële meekoppelkansen die tot nog toe (Februari 2021) uit bovenstaande acties gekomen zijn, zijn weergegeven in Tabel 3-1.

Tabel 3-1: Overzicht potentiële meekoppelkansen.

#	Potentiële meekoppelkansen	Omschrijving	Initiatiefnemer / potentiele partner
1	Doortrekken N307 Houtribdijk	Het doortrekken van de Houtribdijk bij Lelystad tot de A6. Door het doortrekken van de N307 wordt de doorstroming van het verkeer bevorderd. Door de aanleg van een verbindende dam ontstaat er luwte in de Baai Van Eesteren en wordt de versterkingsopgave lokaal verminderd.	Provincie Flevoland, Gemeente Lelystad, Rijkswaterstaat
2	KRW verontdiepingen Ketelmeer/IJsselmeer	Verontdiepingen in het IJsselmeer zorgen voor een vergroot areaal voor bepaalde vegetatietypes en bevorderen de waterkwaliteit. Rijkswaterstaat verkent momenteel de mogelijkheden. Verontdiepingen voor de dijk zouden kunnen leiden tot een verkleinde versterkingsopgave.	Rijkswaterstaat, Gemeente Dronten
3	Uitbreiding Flevokust (bedrijventerrein + haven)	Het uitbreiden van de bestaande Flevokust haven ten zuiden van de bestaande haven. Door een uitbreiding van de haven verkleint lokaal de versterkingsopgave voor de dijk.	Provincie Flevoland
4	Drijvende zonnepanelen	Er zijn plannen voor het ontwikkelen van een drijvend zonnepark nabij de Maximacentrale. Engie heeft al eerder een drijvende zonneparken gebouwd nabij centrale Burgum.	Engie
5	A6-zon	Het betreft het plan om bermen langs A6 van Almere tot Ketelbrug te benutten voor zonnepanelen. De binnenberm zou beschikbaar gesteld kunnen worden voor zonnepanelen. Resultaten van de verkenning worden zomer 2021 verwacht.	Rijkswaterstaat
6	Zonneparken langs dijk	Ontwikkeling/verkenning van zonneparken langs het dijktraject, bijvoorbeeld op het binnentalud en binnenberm.	Energiebedrijven (zoals Engie, Vattenfall, etc.) Waterschap Zuiderzeeland
7	Cruiseschip terminals	Het ontwikkelen van cruiseschip terminals ten zuiden van Flevokust.	Gemeente Lelystad
8	Strekdammen	Het meekoppelen van beheer en onderhoud aan de huidige strekdammen	Huidige beheerders. Jachthavenexploitanten

#	Potentiële meekoppelkansen	Omschrijving	Initiatiefnemer / potentiele partner
		en eventueel deze zo robuust versterken dat de huidige versterkingsopgave van de dijk wordt verminderd.	
9	Exposure verhaal van de dijk	Het tot leven brengen van het verhaal van de dijk. Bijvoorbeeld nabij hevelhuisje sluisstuk en/of met losse elementen	Gemeenten
10	Windmolenpark Blauw	Het weghalen van 74 windturbines en het plaatsen van 61 grote windturbines. De bouw van het windpark begint in het eerste kwartaal van 2021.	Swifterint & Vattenfall, Gemeente Dronten & Lelystad, Provincie Flevoland
11	Strand bij Flevomarina doortrekken tot aan Parkhaven	Het uitbreiden van het Houtribhoekstrand richting het zuiden voor het creëren van een volwaardiger en groter strand. Deze meekoppelkans is vooral gericht op recreatieve doeleinden maar kan een kleine bijdrage leveren aan de versterkingsopgave van de dijk.	Gemeente Lelystad, Flevomarina
12	Uitbreiding Houtribhoogte met huizen tegen de dijk	Dijkwoningen bouwen tegen de dijk als uitbreiding van ontwikkelgebied de Houtribhoogte.	Gemeente Lelystad
13	Ontwikkeling kustpromenade Lelystad	Het ontwikkelen van de kustpromenade van Lelystad. Geen verdere specifieke informatie over bekend.	Gemeente Lelystad
14	Kwaliteitsimpuls Deko Marina	Een kwaliteitsimpuls van Deko Marina met onder andere een tweede entree en verdere ontwikkelplannen.	Deko Marina, Gemeente Lelystad
15	Eilanden en dammen (steppingstones IJssel/markerwadden)	Het ontwikkelen van een natuurgebied voor de kust om de biodiversiteit van het gebied te vergroten. De eilanden en dammen kunnen golven breken en zo bijdragen aan een verkleining van de versterkingsopgave van de dijk	Rijkswaterstaat
16	Zichtbaar maken geulen en rivierduinen Swifterbant	Het zichtbaar maken van oude geulen en rivierduinen in de Swifterbant.	Provincie Flevoland
17	Fietsverbinding	Het verbeteren van het fietspad langs de gehele dijk. Mogelijk te combineren met het onderhoudspad aan de buitendijkse zijde van de dijk.	Provincie Flevoland

Alle meekoppelkansen zijn beoordeeld (Notitie meekoppelkansen, RHDHV, Februari 2020) om te bezien of ze -op dit moment meegenomen worden als oplossing, inpassing, meekoppelkans, adaptief of voor de verkenningsfase onvoldoende kansrijk zijn om mee te nemen. Bij adaptief meenemen worden de voorwaarden behouden of worden deze gecreëerd waardoor een meekoppelproject in de toekomst alsnog kan worden gerealiseerd.

De voorlopige resultaten worden getoond in Tabel 3-2. In ontwerploop 1 wordt de haalbaarheid en het effect van de potentiele meekoppelkansen op de dijkversterkingsopgave verder onderzocht voor de mogelijke dijkversterkingsalternatieven, waarbij tevens contact wordt gezocht met de initiatiefnemers.

Tabel 3-2: Initiële meekoppelkansen en de bijbehorende toepassing

#	Meekoppelkans	Toepassing		Meekoppelkans	Toepassing
1	Doortrekken N307 Houtribdijk	Potentieel Meekoppelen	9	Exposure verhaal van de dijk	Inpassen
2	KRW verontdiepingen IJsselmeer	Potentieel Meekoppelen	10	Windmolenpark Blauw	Uitvoering eerder dan dijkversterking. Afstemmen over inpassing onderdeel futenrustgebied
3	Uitbreiding Flevokust (bedrijventerrein + haven)	Potentieel Meekoppelen	11	Strand bij Flevomarina doortrekken tot aan Parkhaven	Potentieel Meekoppelen
4	Drijvende zonnepanelen (Engie)	Adaptief meenemen	12	Uitbreiding houtribhoogte met huizen tegen de dijk	Potentieel Meekoppelen
5	A6-zon	Adaptief meenemen	13	Ontwikkeling kustpromenade Lelystad	Potentieel Meekoppelen
6	Zonneparken langs dijk	Potentieel Meekoppelen	14	Kwaliteitsimpuls Dekomarina	Potentieel meekoppelen
7	Cruiseschip terminals	Potentieel Meekoppelen	15	Eilanden en dammen (steppingstones IJssel/markerwadden)	Potentieel Meekoppelen
8	Strekdammen	Meenemen als oplossing	16	Zichtbaar maken geulen en rivierduinen Swifterbant	Adaptief meenemen
			17	Fietsverbinding	Meekoppelen

4 Veiligheidsopgave waterveiligheid

4.1 Conclusies waterveiligheidsopgave

Dit hoofdstuk beschrijft kort de waterveiligheidsopgave voor zichtjaar 2080 [gedetailleerde beschrijving in referenties 2 en 8] die aan de basis ligt van de uitvoering van de verkenningsfase van de dijkversterking IJsselmeerdijk. In het kort kan de waterveiligheidsopgave als volgt worden samengevat :

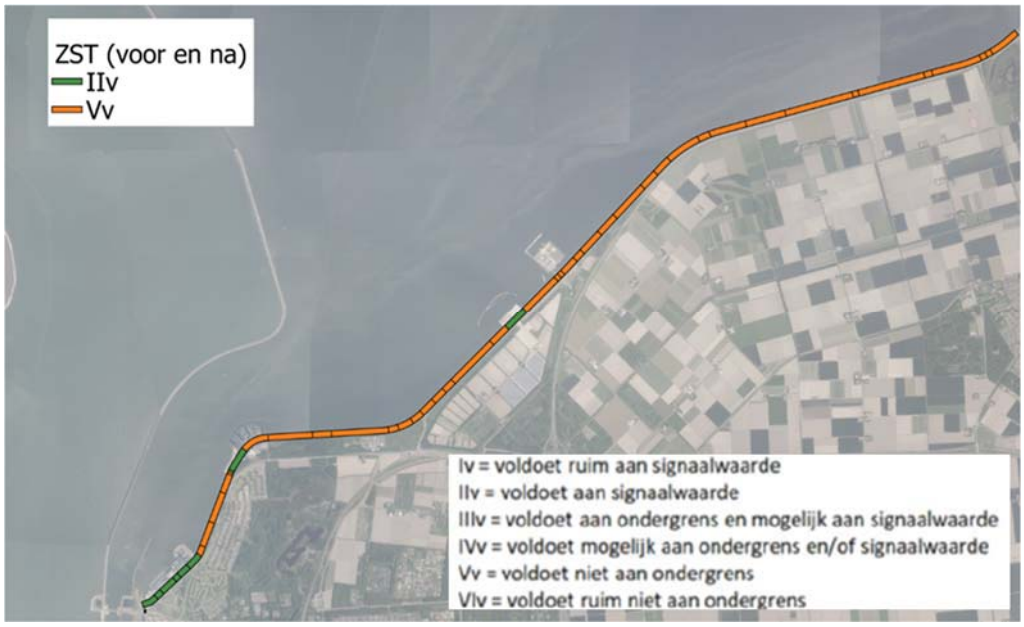
- De steen- en asfaltbekleding op het buitentalud voldoet zowel nu als in de toekomst niet aan de eisen. De faalmechanismen ZST, AWO en AGK behoren daarom tot de scope van het project. Ook voldoet de huidige teenbescherming niet.
- De grasbekleding op het binnentalud en op het buitentalud voldoet nu en in 2080 voor het grootste deel van de IJsselmeerdijk niet meer aan de ondergrens. De faalmechanismen GEKB en GEBU behoren daarom tot de scope van het project.
- Lokaal is er kleine opgave voor GABI/STMI. Het garanderen van een werkende drainage is naar alle waarschijnlijkheid een efficiënte maatregel.
- Er is een beperkt tekort voor het toetsspoor STBI voor zichtjaar 2080. Dit is naar alle waarschijnlijkheid op te lossen door iets scherper te schematiseren (mogelijk door nieuwe informatie uit aanvullend grondonderzoek) en/of probabilistisch rekenen (meenemen van de statistiek van de waterstand).

In onderstaande paragrafen is dit in nadere detail beschreven per faalmechanisme.

4.2 Steenbekleding

4.2.1 Stabiliteit Zetsteen (ZST)

In de nadere veiligheidsanalyse is de stabiliteit van de zetsteen onderzocht met behulp van het programma Steentoets. In beoordeling (voor zichtjaar 2023) was enkel zetsteen op het ondertalud stabiel (weliswaar op reststerkte) indien sprake was van een standzeker voorland of een standzekere havendam, bij de overige vakken voldeed de stabiliteit van de zetsteen ruim niet aan de norm, zie Figuur 4-1.



Figuur 4-1: Resultaat zetsteen (ZST) voor zichtjaar 2080

4.2.2 Stabiliteit teenconstructie

In de nadere veiligheidsanalyse [2] is de stabiliteit van de teenconstructie onderzocht, waarbij een nieuwe beoordelingsmethodiek is toegepast. In beoordeling (voor zichtjaar 2023) waren enkel de vakken met een standzeker voorland of havendam goedgekeurd, bij de overige vakken voldeed de stabiliteit van de teenconstructie ruim niet aan de norm. Dit beeld komt overeen met het veelvuldige onderhoud wat aan de teenconstructie benodigd is.

Om te analyseren of de goedgekeurde vakken voldoen met de zwaardere hydraulische belastingen die horen bij zichtjaar 2080, is de semi-probabilistische rekenmethodiek (zie [8] voor meer uitleg over deze methodiek) opnieuw toegepast met de nieuwe maatgevende belastingen. Uit de berekeningen blijkt dat er geen aanvullende scope ontstaat voor zichtjaar 2080, zie Figuur 4-2.

Figuur 4-2: Resultaat teenstabiliteit voor zichtjaar 2080

4.3 Grasbekleding (incl. hoogte-opgave)

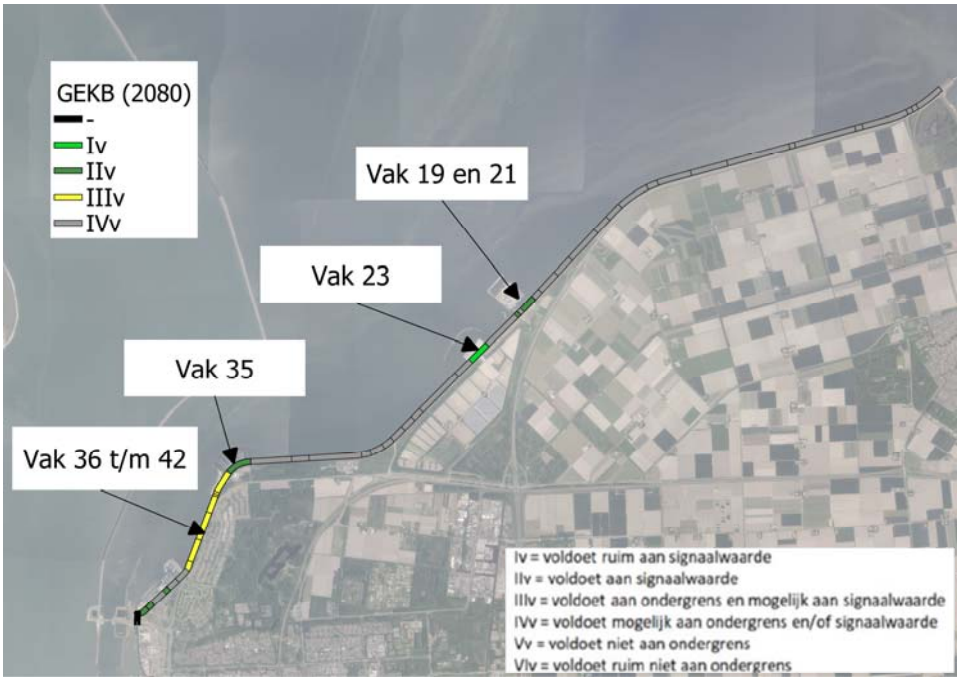
4.3.1 Hoogte- Grasbekleding erosie kruin en binnentalud GEKB

In de Nadere Veiligheidsanalyse [2] is naar voren gekomen dat bijna het gehele dijktraject op peildatum 2023 niet voldoet aan het faalmechanisme GEKB, er zal tijdens maatgevende condities te veel water over de dijk heen slaan. Alleen trajecten met beschutting door standzekere havendammen/voorland voldoen aan GEKB, het gaat specifiek om de dijk achter de Maxima-centrale, Flevokust en trajecten van Parkhaven. De dijk bij de Flevomarina voldoet ook aan GEKB, terwijl de dammen hier echter niet als standzeker zijn beoordeeld. De uitgevoerde analyse voor het zichtjaar 2080 [8] heeft in beeld gebracht dat enkele dijkvakken die in 2023 nog wel voldoen, dat onder de condities in 2080 niet meer doen. Het resultaat van de GEKB analyse voor zichtjaar 2080 is weergegeven in Tabel 4-1.

Tabel 4-1: GEKB resultaat, 2080. Alleen de vakken die in 2023 voldeden.

Dijkvak GEKB	Dijkvak totaal	Faalkans beoordeling [1/jaar]	Oordeel	Faalkans 2080 [1/jaar]	Oordeel
10	19	1/1,132,115	IIv	1/916,124	IIv
12	21	1/1,132,115	IIv	1/916,124	IIv
14	23	1/86,909,974	Iv	1/22,732,818	Iv
22	33 en 34	1/157,278	IIIv	1/71,002	IVv
23	35	1/1,109,553	IIv	1/685,505	IIv
24	36 t/m 38	1/263,647	IIIv	1/147,582	IIIv
25	39	1/263,647	IIIv	1/147,582	IIIv
26	40	1/263,647	IIIv	1/147,582	IIIv
27	41 en 42	1/248,019	IIIv	1/188,960	IIIv
28	43	1/144,269	IIIv	1/109,657	IVv
29	44	1/144,269	IIIv	1/109,657	IVv
30	45	1/584,355	IIv	1/415,248	IIv
31	46	1/60,535	IVv (*)	1/109,657	IVv
32	47 en 48	1/3,869,197	IIv	1/1,449,918	IIv

In Figuur 4-3 is het resultaat voor GEKB voor zichtjaar 2080 op kaart weergegeven.



Figuur 4-3: Resultaat GEKB voor zichtjaar 2080, (nieuwe dijkvakindeling, 'dijkvak totaal')

4.3.2 Grasbekleding afschuiven buitentalud (GEBU)

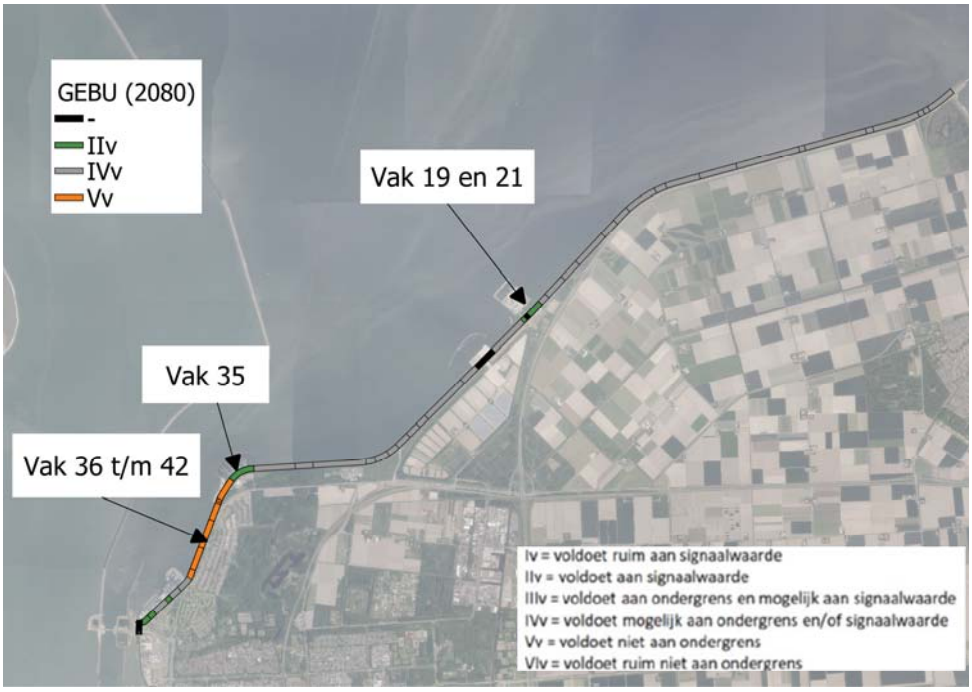
Het gras op het buitentalud is langs vrijwel de hele dijk als niet sterk genoeg beoordeeld. In de startfase van de verkenning [8] is onderzocht of de GEBU-vakken die in 2023 een voldoende oordeel scoorden (Iv, IIv of IIIv), ook in 2080 nog zouden voldoen. De vakken die in 2023 al niet voldoen (IVv, Vv of VIv), zijn immers als standaard onderdeel van de versterkingsscope. In de analyse voor het zichtjaar 2080 zijn daarom alleen de oorspronkelijke GEBU vakken (beoordelingsnummering) 10, 12, 15, 16, 20, 21, 23, 30

en 32 beschouwd. Vervolgens is voor 2080 gerekend met Hydra-NL 2.7 en BM Gras Buitentalud. Voor de volledigheid is hieronder de tabel met GEBU resultaten voor zichtjaar 2080 opgenomen, afkomstig uit het rapport Ontwerpopgave 2080 Dijkversterking IJsselmeerdijk, dijktraject 8-3 [8]. In de eerste kolom de vaknummering voor GEBU uit de beoordeling. In de tweede kolom de algemene vakindeling (alle sporen) uit de nadere veiligheidsanalyse.

Tabel 4-2: GEBU resultaat, 2080. Alleen de vakken die in 2023 voldeden.

Dijkvak GEBU	Dijkvak totaal	Zone	Cat IIv T = 2.000.000 [1/jaar]	Cat IIIv T = 666.667 [1/jaar]	Cat IVv T = 10.000 [1/jaar]	Cat Vv T = 333 [1/jaar]	Oordeel
10	19	Golfoploop	1,585	4,304	10,000	10,000	IIv
12	21	Golfoploop	1,585	4,304	10,000	10,000	IIv
15	24	Golfoploop	0,397	0,557	3,165	10,000	IVv
16	25 t/m 27	Golfoploop	0,349	0,520	2,194	10,000	IVv
20	31	Golfoploop	0,438	0,691	4,835	10,000	IVv
21	32	Golfoploop	0,438	0,691	4,835	10,000	IVv
23	35	Golfoploop	2,914	4,879	10,000	10,000	IIv
30	45	Golfklap	3,270	4,804	10,000	10,000	IIv
32	47 en 48	Golfklap	10,000	10,000	10,000	10,000	IIv

In Figuur 4-4 is het resultaat voor GEBU voor zichtjaar 2080 op kaart weergegeven.



Figuur 4-4: Resultaat GEBU voor zichtjaar 2080 (nieuwe dijkvakindeling, 'dijkvak totaal')

4.4 Stabiliteit

4.4.1 Macrostabiliteit buitenwaarts (STBU)

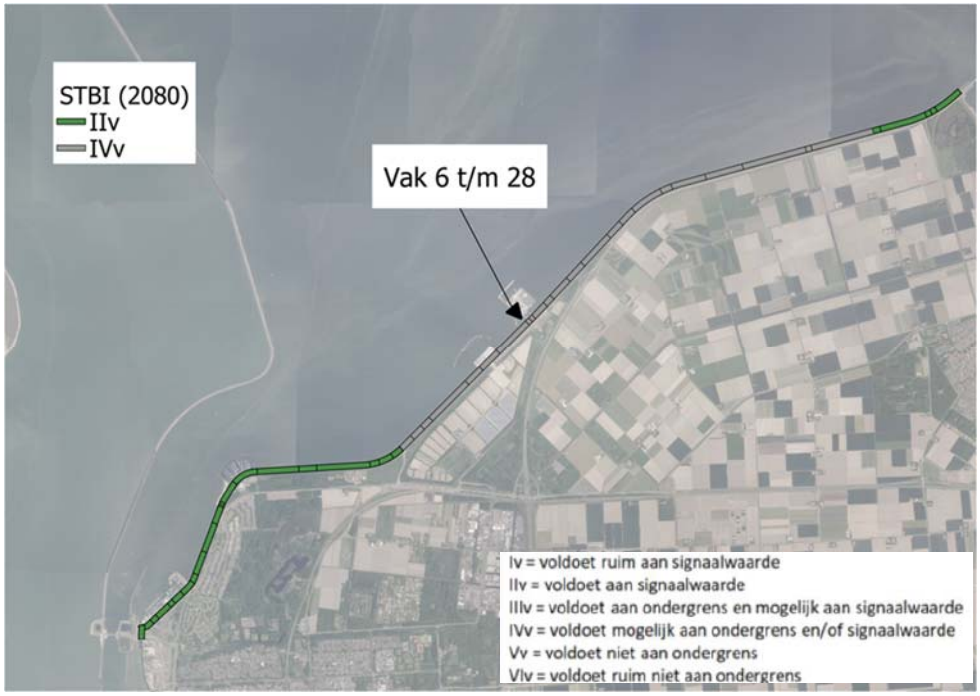
De dijk -in huidige vorm- voldoet aan de buitenwaartse stabiliteit. Dit komt vooral doordat de dijk is gebouwd op een zandcunet. In Figuur 4-5 is het toetsresultaat voor STBU voor zichtjaar 2080 weergegeven.

Figuur 4-5: Resultaat STBU voor zichtjaar 2080

4.4.2 Macrostabiliteit binnenwaarts (STBI)

In de vorige fase van het project is een beperkt tekort voor het toetsspoor binnenwaartse stabiliteit STBI voor zichtjaar 2080 naar voren gekomen, met de aanvulling dat dit waarschijnlijk rekenkundig is op te lossen door iets scherper te schematiseren (mogelijk door nieuwe informatie uit aanvullend grondonderzoek) en/of probabilistisch rekenen (meenemen van de statistiek van de waterstand). Dit wordt als aanbeveling meegenomen in de verkenningsfase, met name tijdens ontwerploop 2.

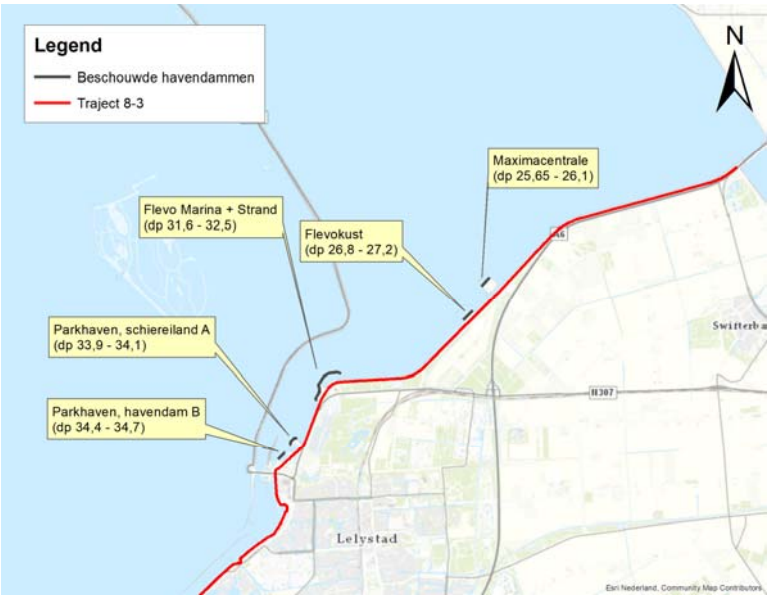
De versterkingsopgave is nu dus niet primair gericht is op een stabiliteitsopgave, maar een versterkingsmaatregel kan wel een stabiliteitsopgave veroorzaken. Dit kan vooral het geval zijn bij alternatieven met ruimtebeslag buiten het huidige grondverbeteringscunet. In de eerste ontwerploop worden alle mogelijke alternatieven getoetst en waar nodig aangepast om te voldoen aan binnenwaartse stabiliteitseisen. In Figuur 4-6 is het toetsresultaat voor STBI voor zichtjaar 2080 weergegeven.



Figuur 4-6: Resultaat STBI voor zichtjaar 2080

4.5 Havendammen

De havendammen hebben invloed op de hydraulische belasting op de IJsselmeerdijk. Dit komt het sterkst tot uiting bij de bekledingsmechanismen en de hoogte-opgave. In deze paragraaf wordt kort de analyse naar de standzekerheid van de havendammen in 2080 beschreven. De volledige analyse is opgenomen in de nadere veiligheidsanalyse. In deze notitie wordt ook kort de invloed op het veiligheidsoordeel van achterliggende dijkvakken voor de belangrijkste toetssporen voor deze dijk, namelijk GEKB, GEBU en ZST, beschreven wanneer er een standzekere havendam wordt verondersteld. In Figuur 4-7 wordt een overzicht van de beschouwde havendammen weergegeven.



Figuur 4-7: Beschouwde havendammen

4.5.1 Maximacentrale

Voor de Maximacentrale (Figuur 4-8) is op basis van expertinschatting geconcludeerd dat het terrein onder alle omstandigheden voldoende standzeker is. Een deel van de kering rond de Maximacentrale is nu aangemerkt als primaire waterkering. Dit deel van de kering hoeft niet versterkt te worden, want zelfs als de bekleding van de ringdijk faalt, dan zal er gedurende 35 (of 45) uur niet een dusdanige afslag optreden die resulteert dat primaire kering achter de Maximacentrale niet meer in luwte ligt. De dijk achter de Maximacentrale voldoet -vanwege deze standzekerheid- aan de toetssporen GEKB, GEBU. Lokaal bij toerit naar de Maximacentrale is de dijk echter lager, hier voldoet de dijk niet aan toetsspoor GEKB. De zetsteenbekleding van de dijk is van onvoldoende dikte.

Figuur 4-8: Oostzijde Maximacentrale en bovenaanzicht.

4.5.2 Flevokust

De Flevokust (Figuur 4-9) wordt beschouwd als standzeker. Het terrein bestaat namelijk uit een breed voorland (150x400 m) en een zware verankerde damwand als kade constructie (zie Paragraaf 2.3.4 in [2]). De Flevokust is voldoende hoog (NAP+2,3m) om de belasting tijdens stormcondities op het dijklichaam significant te reduceren. De dijk achter de Flevokust voldoet aan GEKB, GEBU en ZST.

Figuur 4-9: Flevokust

4.5.3 Flevo Marina havendam

Uit de nadere veiligheidsanalyse is gebleken dat de voorliggende havendam bij Flevo Marina (voorliggende dam voor het gele dijkvak in Figuur 4-10) in de huidige staat niet standzeker is. Echter heeft dit geen effect op het toetsoordeel voor GEKB en GEBU. Aan beide toetssporen voldoet het dijktraject achter deze havendam zelfs zonder golfreducerend effect van een havendam. De zetsteenbekleding (ZST) en de teenconstructie voldoen echter niet. Uit de nadere veiligheidsanalyse blijkt dat zelfs wanneer de havendam standzeker is, de huidige dimensies (hoogte en breedte) onvoldoende zijn om voldoende golfbreking te veroorzaken in maatgevende condities en dus tot een voldoende oordeel voor het achterliggende dijkvak te komen.

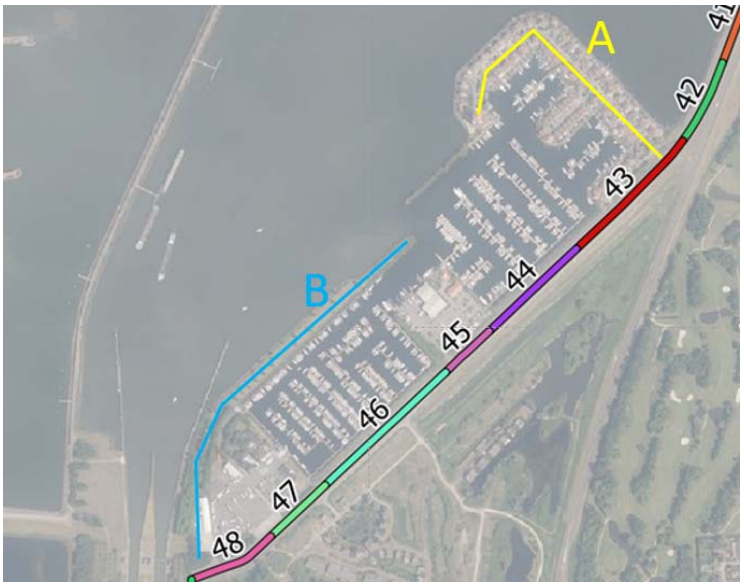
Figuur 4-10: Overzicht Flevo Marina havendam en strand.

4.5.4 Houtribhoekstrand

Voor Flevo Marina Strand is geconcludeerd dat in de huidige situatie de dam (voorliggende dam bij het oranje dijkvak in Figuur 4-10) niet als standzeker kan worden beoordeeld. De dam is laag en onvoldoende sterk. Het oordeel voor GEKB is daardoor oordeel IIIv. Voor GEBU was de standzekerheid sowieso niet van belang. Dit komt omdat het oordeel hoogstens IVv is met een standzeker dam. Voor ZST is geconcludeerd dat dit verholen onder het strand ligt. In combinatie met de langsdam die voor het strand ligt, welke zorgt dat het zand binnen het profiel blijft liggen, is in de nadere veiligheidsanalyse daarom vastgesteld dat de zetsteen en de teenconstructie voldoende beschermd zijn tegen golfaanval.

4.5.5 Parkhaven schiereiland A

De bewoonde havendam van Parkhaven wordt als standzeker verondersteld. In Figuur 4-11 liggen trajecten 43 en 44 achter deze havendam. Het dijklichaam is alleen afgekeurd op toetsspoor GEKB en GEBU. De zetsteenbekleding voldoet dus voor dit deel van de dijk.



Figuur 4-11: Overzicht Parkhaven (dijkvakken totaal)

4.5.6 Parkhaven havendam B

Ook havendam B is standzeker verondersteld. Deze havendam biedt luwte voor de trajecten 45 t/m 48 in Figuur 4-11. Het dijklichaam is alleen afgekeurd op toetsspoor GEKB en GEBU. De zetsteenbekleding voldoet dus voor dit deel van de dijk.

5 Ontwerpen met het OI2014

5.1 Normering

In de Waterwet zijn twee normen gedefinieerd per dijktraject: een 'Signaleringswaarde' en een Maximaal Toelaatbare Kans (ondergrens). De Maximaal Toelaatbare Kans mag niet overschreden worden. De Signaleringswaarde betreft ook een kans, is kleiner of gelijk aan de Maximaal Toelaatbare Kans en dient als een waarschuwing voor de waterkeringbeheerder om te starten met een dijkversterkingsproject. Het duurt immers enige tijd voordat een dijk is versterkt.

Normtraject 8-3 voldoet momenteel niet aan de signaleringswaarde, maar ook niet aan de ondergrens. Van de met de signaleringswaarde beoogde 'besteltijd' is dan ook geen sprake. Conform het OI2014 v4[1,2] is het ontwerp van een kering erop gericht om nog net te voldoen aan de maximaal toelaatbare overstromingskans (ondergrens) aan het einde van de beoogde levensduur. De signaleringswaarde speelt bij het ontwerp dus geen directe rol.

Doordat de IJsselmeerdijk beperkt zakt doordat de keringen gefundeerd zijn op een zandcunet en doordat het klimaateffect in het merengebied achter de Afsluitdijk klein is, kán het zo zijn dat de dijk na versterking niet aan de signaleringswaarde voldoet, maar wel aan de ondergrens.

In Tabel 5-1 zijn de normen weergegeven zoals die binnen dit project worden gehanteerd.

Tabel 5-1: De faalkansnormen conform de Waterwet (kansen per jaar)

Kans	Traject 8-3: IJsselmeerdijk
Signaleringswaarde	1 / 30.000
Maximaal Toelaatbare (overstromings)kans	1 / 10.000

5.2 Faalkansruimte

Een dijk kan door verschillende oorzaken (faalmechanismen) bezwijken. De som van de afzonderlijke kansen van deze faalmechanismen moet zo klein zijn dat de gezamenlijke kans niet groter wordt dan de maximaal toelaatbare overstromingskans, aldus de Waterwet. Om dit rekenkundig hanteerbaar te maken, splitsen we deze maximaal toelaatbare overstromingskans, zoals in Tabel 5-1 is afgeleid, naar de verschillende faalmechanismen. Dit resulteert in faalkanseisen per faalmechanisme. In het OI2014-v4 is de faalkansruimteverdeling afgegeven zoals weergegeven in Tabel 5-2. Deze verdeling is op ervaring gebaseerd en in het algemeen gericht op een optimalisering van het dijkontwerp. Het ontwerpinstrumentarium OI2014-v4 geeft ruimte om deze standaard faalkansverdeling aan te passen om zo de versterkingsopgave voor een specifiek project te optimaliseren.

Ontwerploop 1 wordt in principe uitgevoerd met de standaard faalkansbegroting uit het OI2014-v4 (Tabel 5-2). In de aanloop naar ontwerploop 2 (richting VKA) worden de mogelijkheden voor het aanpassen van de faalkansbegroting nader onderzocht. Indien bijvoorbeeld piping niet op kan treden of de kans daarop extreem klein is, kan aan dat mechanisme minder faalkansruimte en daarmee ook een strenge eis worden toegekend, waarmee ruimte ontstaat voor andere mechanismen. Het idee is dan dat (een deel van) het beschikbare budget van piping (24%) naar bijvoorbeeld graserosie (gecombineerd GEBU en GEKB) of de harde bekleding op het buitentalud gaat. Dit verschuiven van de faalkansruimte leidt tot minder zware

[1] *https://www.helpdeskwater.nl/publish/pages/142605/handreiking_ontwerpen_met_overstromingskans_feb2017.pdf*
[2] *https://www.helpdeskwater.nl/publish/pages/142605/11202226-009-geo-0002-v2-r-werkwijzer_bepaling_hydraulische_ontwerprandvoorwaarden.pdf*

eisen aan de bekleding en juist een zeer strenge eis aan piping. Dat laatste hoeft geen probleem te zijn, omdat de berekende piping-kansen zéér klein zijn. Aandachtspunt is dat als hiertoe wordt besloten, de nieuwe verdeling voor het hele normtraject geldt en dus ook voor het gedeelte langs het Markermeer, buiten de scope van dit project.

Ook is vanaf ontwerploop 2 het combineren van de mechanismen GEBU en GEKB voorzien, waarmee de faalkansbijdragen van beide mechanismen kunnen worden opgeteld. Dergelijke ontwerpkeuzes leiden tot een lagere overgangshoogte van harde (steen) naar zachte (gras) bekleding en wellicht ook een iets lagere benodigde kruinhoogte. Voor de huidige fase, gericht op het vaststellen van de kansrijke alternatieven, volstaat de standaard OI2014 werkwijze en dus de standaard faalkansverdeling.

In de periode eind februari 2021 tot medio maart 2021 moet een analyse met twee geavanceerde, probabilistische, cumulatieve overbelastingsmodellen van Deltares en HKV in beeld brengen of het verschuiven van de faalkansruimte en het samenvoegen van GEBU en GEKB tot significant andere uitkomsten leidt dan de standaard ontwerpwijze conform OI2014v4. Indien de verschillen dusdanig groot blijken te zijn dat daarmee de keuze voor kansrijke alternatieven wordt beïnvloed, is probabilistisch rekenen met deze geavanceerde modellen al in ontwerploop 1 aan de orde. De keuze voor één van de twee of beide modellen is eind maart voorzien. Als de verschillen in dimensies met de OI2014v4 methode niet alternatief-onderscheidend zijn, kan in ontwerploop 1 op de OI2014v4 wijze worden gerekend en wel met een kritisch overslagdebiet van 10 l/s/m en de twee losse faalmechanismen GEBU en GEKB.

Tabel 5-2: Standaard faalkansruimteverdeling conform (Rijkswaterstaat WVL, feb 2017)

Type waterkering	Faalmechanisme	ω [-]
Dijk	Overloop en golfoverslag	0,24
	Opbarsten en Piping	0,24
	Macrostabiliteit binnenwaarts	0,04
	Beschadiging bekleding en erosie buitentalud • Gras • Harde bekleding	 0,05 0,05
Kunstwerk	Niet sluiten	0,04
	Piping	0,02
	Constructief falen	0,02
Overig		0,30
Totaal		1,00

De overstromingskansnorm op trajectniveau wordt vertaald naar een faalkanseis per faalmechanisme op doorsnede-niveau [3] volgens Vergelijking 1:

Vergelijking 1:

$$P_{eis,dsn} = \frac{P_{max} \cdot \omega}{N}$$

Hierin is:

$P_{eis,dsn}$	:	maximaal toelaatbare faalkans op doorsnedeniveau	[per jaar]
P_{max}	:	maximaal toelaatbare faalkans op trajectniveau	[per jaar]
ω	:	Faalkansruimtefactor	[-]
N	:	lengte-effectfactor	[-]

Het lengte-effect (N) is een trajectafhankelijke maat en kan voor het mechanisme hoogte variëren tussen een waarde van 1, 2 of 3. In het OI2014-v4 [3] is voor het dijktraject 8-3 een N-waarde van 3 vastgesteld.

Voor de geotechnische faalmechanismen dient de N-waarde te worden berekend met de volgende Vergelijking 2:

Vergelijking 2:

$$N = 1 + \frac{a \cdot L_{traject}}{b}$$

Hierin is:

N	:	lengte-effectfactor	[-]
a	:	fractie van de lengte van het traject dat gevoelig is voor het betreffende faalmechanisme, voor dit traject: a= 0,40 voor STPH en 0,033 voor STBI.	[-]
b	:	lengte van onafhankelijke, equivalente vakken voor het betreffende faalmechanisme, voor dit traject, voor dit faalmechanisme (b=300 voor STPH en b=50 voor STBI)	[m]
$L_{traject}$	:	lengte van het dijktraject waarop de norm van toepassing is, L = 22,7 km.	[m]

5.3 Detailniveau verkenningsfase

De verkenningsfase richt zich op het ontwikkelen van een voorkeursalternatief. De ontwerpen moeten van een dusdanig niveau zijn dat er een breed gedragen keuze gemaakt wordt. Dit houdt in dat het (detail)niveau van de uitwerking van de ontwerpen (zowel berekeningen als ruimtelijke ontwerpen) gebaseerd wordt op ‘alternatief onderscheidend’. Met andere woorden: ontwerpelementen die geen invloed hebben op de keuze voor een voorkeursalternatief worden niet uitgewerkt of positiever geformuleerd: de hoofdafmetingen en belangrijkste omgevingseffecten zijn zodanig bekend dat het te kiezen voorkeursalternatief bij nadere uitwerking in de planuitwerkingsfase standhoudt en geen belangrijke veranderingen meer ondergaat die een andere beoordeling aan de afwegingscriteria rechtvaardigen.

Op hoofdlijnen leidt dit tot het detailniveau zoals weergegeven in onderstaande tabel.

Tabel 5-3: Detailniveau ontwerpen verkenningsfase

Doel	Wel uitwerken	Niet uitwerken
Vaststellen bestaande situatie tbv (parametrisch) ontwerp	Bekledingsvlakken visualiseren 3D geometrie (oppervlakte) van dijk Dijkpalen Dijkvakindeling Bepaling maatgevende 2D dwarsprofielen per dijkvak Geotechnische lengteprofielen Analyse aanlegtekeningen Eigendomssituatie 3D model huidige dijk/referentie-ontwerp	Nader veldonderzoek anders dan benoemd/afgesproken
Berekeningen t.a.v. dijkstabiliteit	2D Stabiliteitsberekeningen en constructieve berekeningen; indicatief, om te bepalen welke type constructie minimaal benodigd is en welke taluds stabiel blijven Uitvoeringsduur indicatief t.b.v. afweging en planning	Detailberekeningen constructies t.b.v. verankering Zettingen t.g.v. vervorming Berekeningen per fasering
Berekeningen t.a.v. stabiliteit bekledingen	Afweging bekledingstype Inschatting dikte Steenzettingen/Asfalt/Breuksteen Berekening overgang grasbekleding	Detailberekeningen steenzettingen, asfalt, breuksteen.

Ontwerp nieuwe situatie (VKA)	Principedoorsnedes voor stedelijk/recreatief en landelijk gebied Uitwerking principedoorsnedes (ontwerphoogtes) in verticale dwarsdoorsnedes en bovenaanzichten 3D Weergave en visualisaties met invloed op eigendomssituatie Bepaling overstromingskans tijdens levensduur Bepaling aanleghoogtes t.b.v. hoeveelhedenbepaling en effectbepaling	3D uitwerking opritten 3D uitwerking overgangen en aansluitingen (horizontaal en verticaal)

Tot zeef 1 zal het uitwerkingsniveau zich voornamelijk toespitsen op alternatief-onderscheidende keuzes en elementen. De alternatieven worden uitgewerkt op 2D niveau, zie ook Figuur 1-4 voor een voorbeeld. Vanaf ontwerploop 2 zal worden gewerkt met een 3D model, worden koppelkansen en maatwerkdijkvakken ingepast en richt het ontwerpproces zich op optimalisaties.

5.4 Dijkvakken

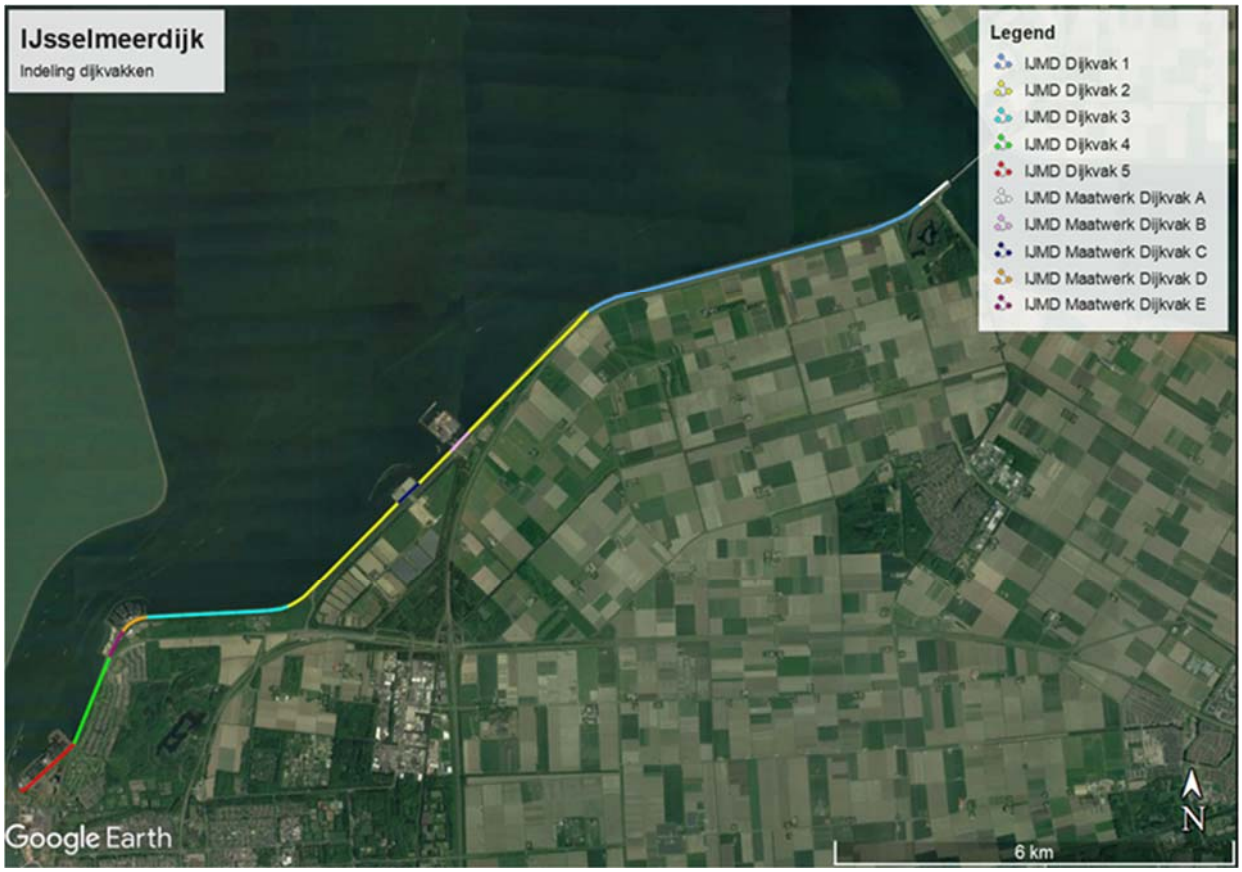
Voor het ontwerp van de dijkversterking, wordt het dijktraject gedurende de verkenningsfase opgedeeld in dijkvakken. Deze worden gebaseerd op:

- Geometrie en oriëntatie van de dijk (inclusief aanwezigheid opritten)
- Hydraulische randvoorwaarden
- Versterkingsopgave
- Aan- of afwezigheid van voorland
- Aanwezigheid van type bekleding
- Dijkopbouw
- Samenstelling van de ondergrond
- Geohydrologische situatie

Voor de eerste ontwerploop (tot zeef 1 keuze kansrijke alternatieven) wordt gekozen om onderscheid te maken tussen de twee hoofdtrajecten Meerdijk en de Baaidijk. Conform Ruimtelijk Kwaliteitskader [4] zal worden gestreefd naar zo uniform mogelijke versterkingsalternatieven binnen deze twee hoofdtrajecten. Deze hoofdtrajecten worden echter wel weer onderverdeeld in hoofddijkvakken en maatwerkdijkvakken, vanwege één of meerdere van opgesomde redenen.

In het ontwerpproces is een hoofddijkvak een dijkvak van een langere lengte met een relatief uniforme versterkingsopgave. Een maatwerkdijkvak is een kort dijkvak met een beperkte of zelfs helemaal geen hoogte-opgave, waardoor de exacte inpassingsopgave sterk afhankelijk is van de keuze van de aangrenzende dijkvakken. Voor deze maatwerkdijkvakken worden in zeef 1 nog geen mogelijke alternatieven uitgewerkt.

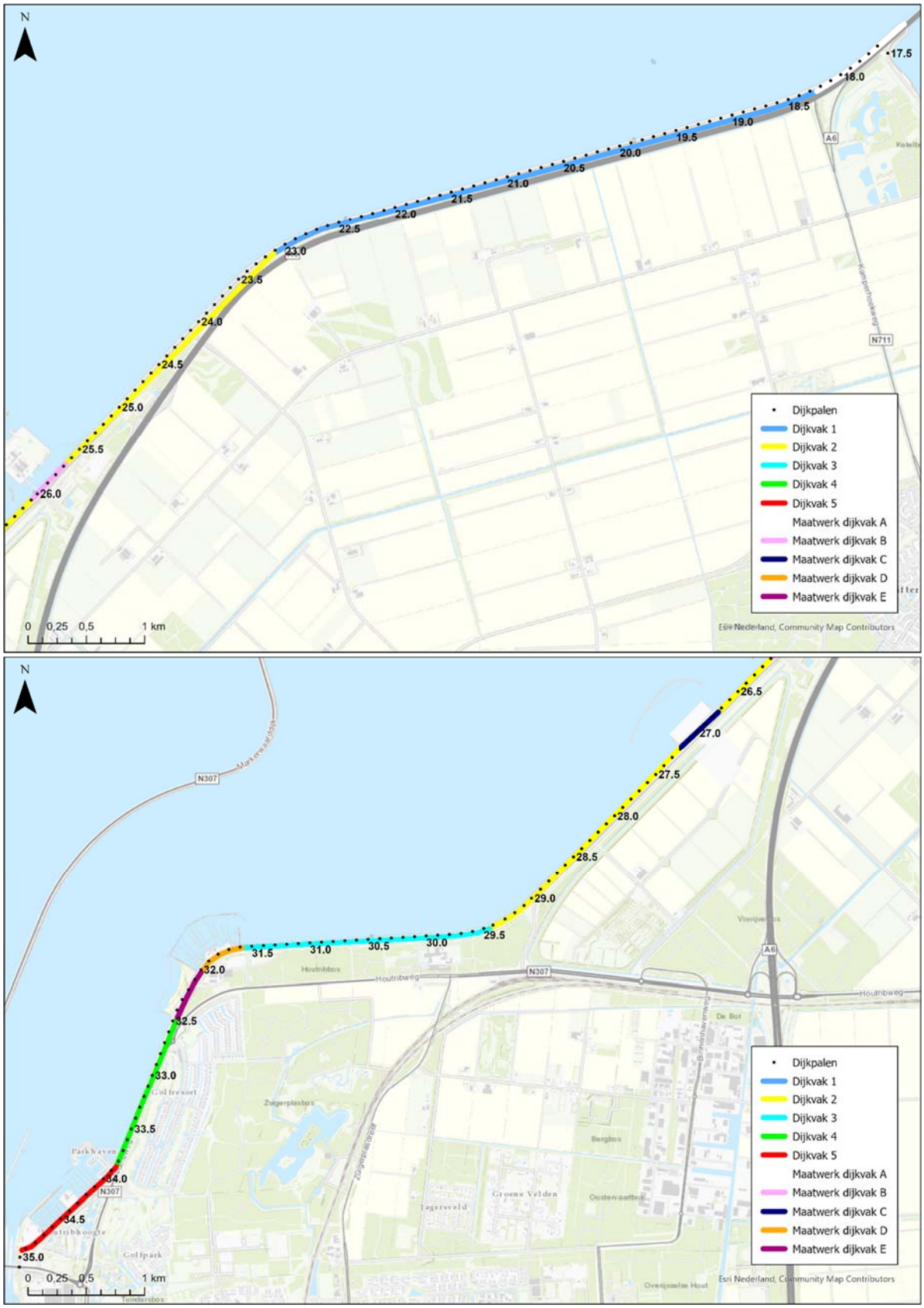
De gekozen (maatwerk) dijkvakken zijn visueel weergegeven in Figuur 5-1. De gekozen dijkvakken zijn in meer detail weergegeven in Figuur 5-2. In Tabel 5-4 is een tabel opgenomen, waarin is aangegeven vanaf welke dijkpaal en tot welke dijkpaal een bepaald dijkvak loopt.



Figuur 5-1: Indeling dijkvakken IJsselmeerdijk tot zeef 1

Tabel 5-4: Dijkvakken IJsselmeerdijk ontwerploop 1

Dijkvak	Van dijkpaal	Tot dijkpaal
Maatwerk Dijkvak A	Brughoofd	18.22
Dijkvak 1	18.2	23.1
Dijkvak 2A	23.1	25.7
Maatwerk Dijkvak B	25.7	26.1
Dijkvak 2B	26.1	26.8
Maatwerk Dijkvak C	26.8	27.2
Dijkvak 2C	27.2	29.5
Dijkvak 3	29.5	31.6
Maatwerk Dijkvak D	31.6	32.0
Maatwerk Dijkvak E	32.0	32.5
Dijkvak 4	32.5	33.9
Dijkvak 5	33.9	34.9

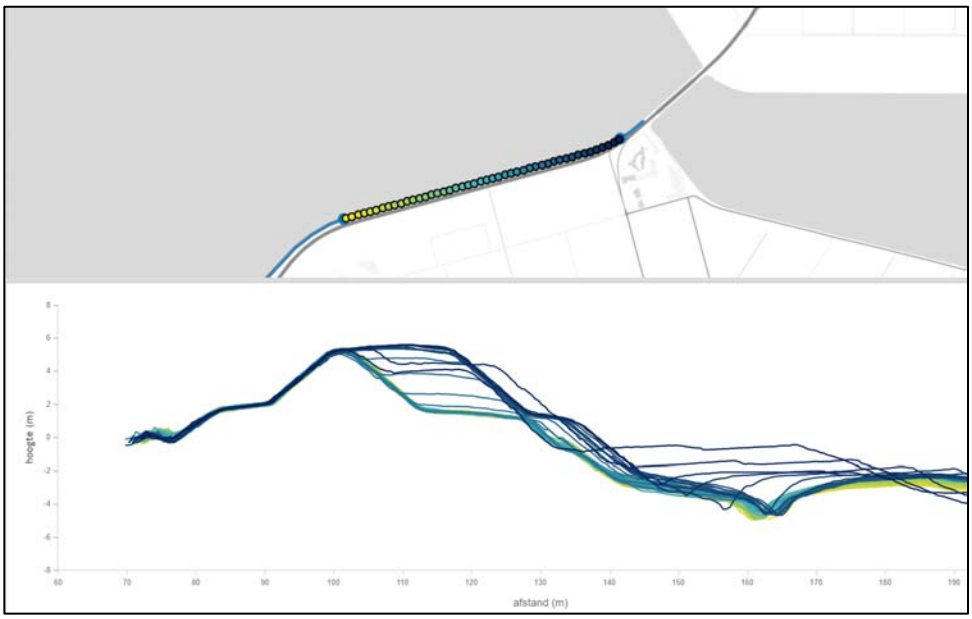


Figuur 5-2: Indeling dijkvakken IJsselmeerdijk tot zeef 1 gedetailleerd met dijkpalen

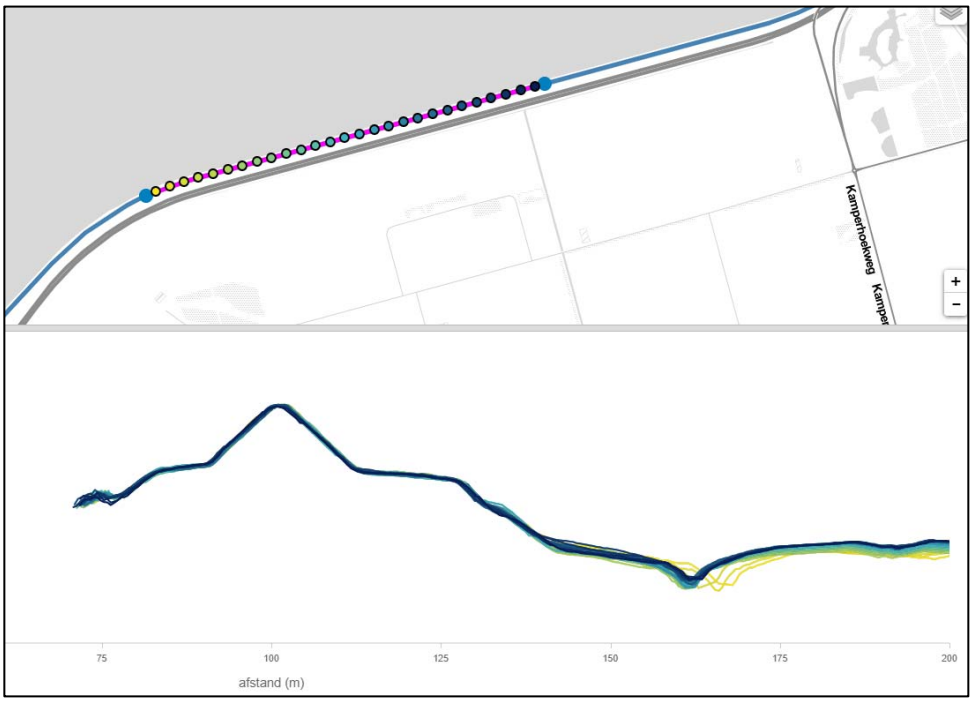
Onderstaand worden de dijkvakken die worden gebruikt tot zeef 1 van noord tot zuid kort toegelicht.

Maatwerk dijkvak A – Ketelbrug (van brughoofd tot dp18.2)
De aansluiting van het dijklichaam naar de Ketelbrug is aangemerkt als maatwerklocatie. De snelweg A6 ligt hier lokaal op de kruin van de dijk. In ontwerploop 1 zal de exacte opgave voor deze aansluiting worden bepaald. Op dit moment wordt een bekledingsopgave en een hoogteopgave voorzien. In ontwerploop 2 zal de aansluiting verder worden uitgewerkt.

Dijkvak 1 Ketelbrug tot Urkerhoek – Onderdeel van de Meerdijk (van dp18.2 tot dp23.1)
Het dijkvak is noordwest georiënteerd. De dijk heeft een relatief lange binnenberm, waarop een onderhoudspad is gelegen. De dijkbekleding op het buitentalud is uniform en zal geheel verbeterd moeten worden. Aan de binnenzijde van de dijk ligt de snelweg A6. Buitendijk staan de windmolens, Het hoogte-tekort voor dit dijktraject voor zichtjaar 2080 en 10 l/s/m golfoverslagdebiet is circa 110cm. De lengte van dit dijkvak is circa 5,5km. In Figuur 5-3 en Figuur 5-4 zijn dwarsprofielen weergegeven van dit dijktraject. Uit Figuur 5-4 blijkt duidelijk dat het dijkprofiel bij de oprit naar Ketelbrug niet uniform is.



Figuur 5-3: Profielen AHN met zandlichaam A6 naar Ketelbrug (bron: HKV Profielengenerator)

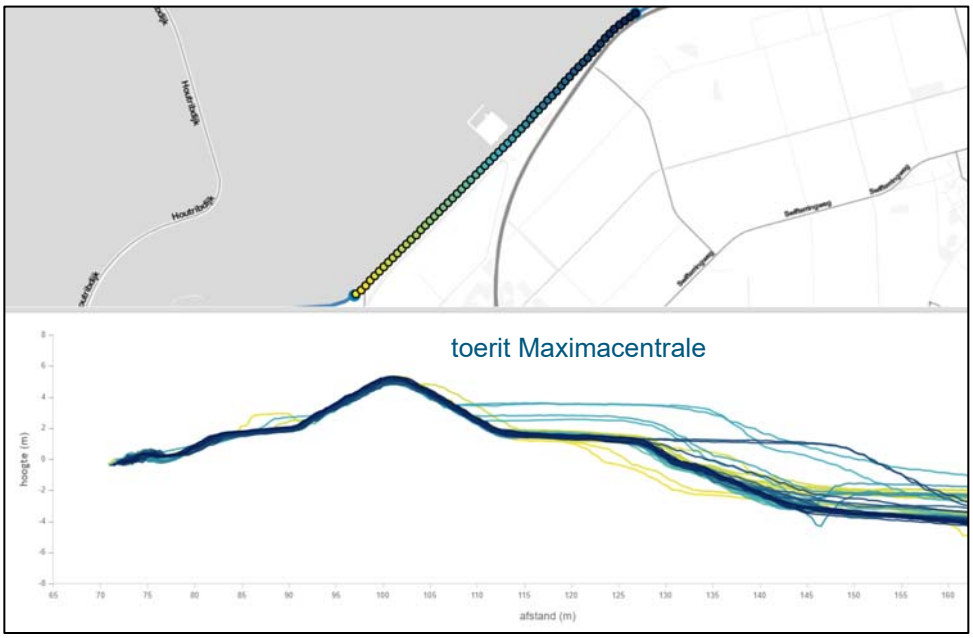


Figuur 5-4: Profielen AHN Locatie 1, zonder oprit Ketelbrug (bron: HKV Profielengenerator)

Maatwerk dijkvak B – Maximacentrale (van dp25.7 tot dp26.1)
De dijkversterking direct achter de Maximacentrale is aangemerkt als maatwerklocatie. De zetsteenbekleding voldoet niet en alleen lokaal is er een hoogte-tekort (bij de oprit naar de centrale). De exacte inpassing van de dijkversterking is hier sterk afhankelijk van de versterkingskeuze van de “buurvakken”. Daarnaast kruisen een aantal grote leidingen en kabels hier de dijk. In ontwerploop 1 zal de exacte opgave voor dit maatwerkdijkvak nader worden bepaald. In ontwerploop 2 zal het ontwerpproces echt starten.

Maatwerk dijkvak C – Flevokust (van dp26.8 tot dp27.2)
Het dijklichaam direct achter de Flevokust is aangemerkt als maatwerklocatie. In de nadere veiligheidsanalyse is aangetoond dat er voor dit dijktraject geen directe versterkingsopgave is. Maar vanwege aansluitingen met “buurvakken” en esthetische redenen zal dit dijkvak mogelijk wel worden aangepakt. Het ontwerpproces van dit maatwerkvak start in ontwerploop 2 als de kansrijke alternatieven zijn gekozen.

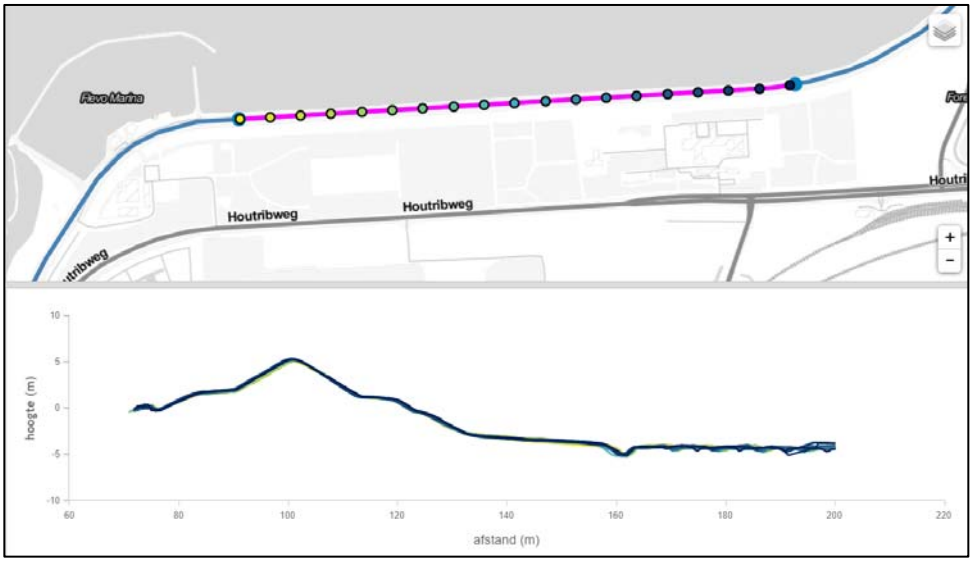
Dijkvak 2 Urkerhoek – Lelystad – Onderdeel van de Meerdijk (van dp23.1 tot dp29.5)
Het tweede traject is representatief voor de dijk vanaf Urkerhoek tot de bocht bij Lelystad nabij de NS Opstellocatie. De dijktrajecten direct achter de Maximacentrale en de Flevokust behoren niet tot dit dijktraject, dit zijn maatwerkdijkvakken. Dit dijktraject ligt op het noordwesten. In de AHN profielen (Figuur 5-5) is duidelijk de toerit naar de Maximacentrale te zien. Aan de buitenzijde is de geometrie van de dijk zeer uniform. Aan de buitenzijde is overal het standaard profiel aanwezig: boventalud 1:3, ondertalud 1:5, standaard buitenberm, breukstenen teen. Het hoogte-tekort voor dit dijktraject voor zichtjaar 2080 en 10 l/s/m golfoverslagdebiet is circa 150cm. Daarnaast voldoet de gehele buitendijkse dijkbekleding niet aan de norm.



Figuur 5-5: Profielen AHN Locatie 2 (bron: HKV Profielengenerator)

Dijkvak 3 Lelystad – Flevo Marina - Onderdeel van de Meerdijk (van dp29.5 tot dp31.6)

Het derde dijkvak is representatief verondersteld voor het deel van de dijk vanaf de NS Opstellocatie tot de Flevo Marina. De dijk ligt hier vrijwel op het noorden georiënteerd, er is bijzonder weinig variatie in het profiel, zie Figuur 5-6. De aanwezige binnenberm is hier aanzienlijk smaller dan de binnenberm van trajecten 1 en 2. Aan de buitenzijde is overal het standaard profiel aanwezig: boventalud 1:3, ondertalud 1:5, standaard buitenberm, breukstenen teen. Het hoogte-tekort voor dit dijktraject voor zichtjaar 2080 en 10 l/s/m golfoverslagdebiet is circa 90cm. Daarnaast voldoet de gehele buitendijkse dijkbekleding niet aan de norm.



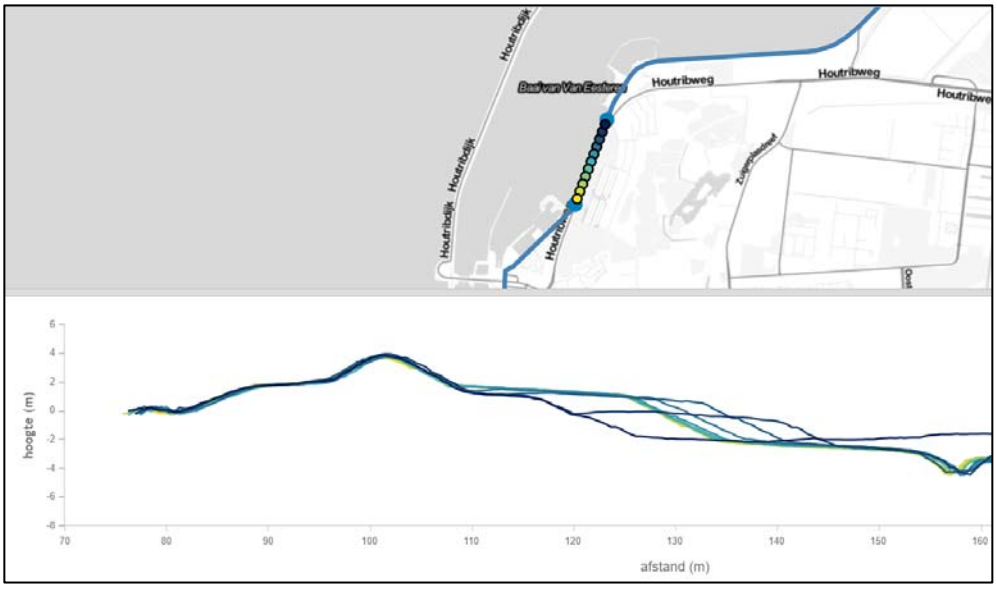
Figuur 5-6: Profielen AHN Locatie 3 (bron: HKV Profielengenerator)

Maatwerk dijkvak D - Flevo Marina (van dp31.6 tot dp32.0)

De dijkversterking bij de Flevo Marina is aangemerkt als maatwerklocatie. De zetsteenbekleding en de teenconstructie van de dijk voldoen niet. Dit dijktraject heeft echter geen hoogte-tekort bij een keuze van 10 l/s/m golfoverslagdebiet en zichtjaar 2080. De exacte inpassing van de dijkversterking is hier sterk afhankelijk van de versterkingskeuze van de “buurvakken”. In ontwerploop 1 zal de exacte opgave voor dit maatwerkdijkvak nader worden bepaald. In ontwerploop 2 zal het ontwerpproces echt starten als de kansrijke alternatieven van de hoofdijkvakken zijn bepaald.

Maatwerk dijkvak E – Houtribhoekstrand (van dp32.0 tot dp32.5)
De dijkversterking bij het strand van Flevo Marina is ook aangemerkt als maatwerklocatie. De zetsteenbekleding en de teenconstructie van de dijk voldoen voor dit dijkvak. Er is een beperkt hoogte-tekort bij een keuze van 10 l/s/m golfoverslagdebiet en zichtjaar 2080. De exacte inpassing van de dijkversterking is hier sterk afhankelijk van de versterkingskeuze van de “buurvakken”. In ontwerploop 1 zal de exacte opgave voor dit maatwerkdijkvak nader worden bepaald. In ontwerploop 2 zal het ontwerpproces echt starten als de kansrijke alternatieven van de hoofddijkvakken zijn bepaald.

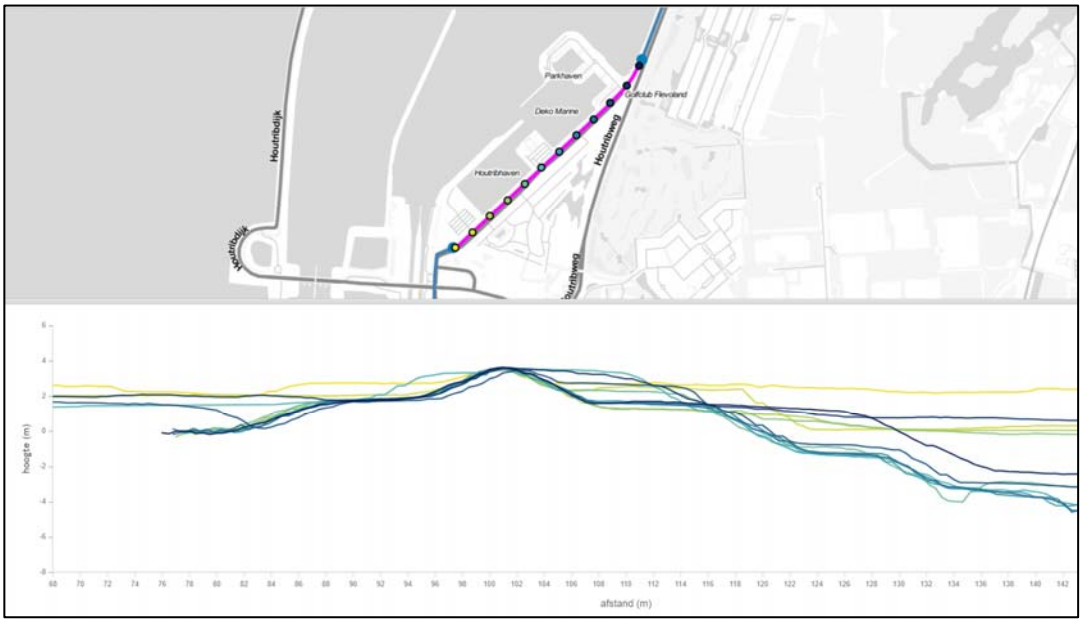
Dijkvak 4 Golfclub – Parkhaven - Onderdeel van de Baaidijk (van dp32.5 tot dp33.9)
Het vierde dijkvak schematiseert de dijk vanaf de Golfclub Lelystad tot Parkhaven. Het strand van Flevo Marina behoort dus niet bij dit dijkvak, dit is een maatwerk dijkvak. Aan de buitenzijde is de dijk bij dit dijktraject wederom zeer uniform qua geometrie, zie ook Figuur 5-7. De kruinhoogte is echter significant lager dan bij de locaties 1, 2 en 3. Dit vanwege het feit dat de dijk niet vol op de wind ligt en de golven dus aanzienlijk lager zijn. Aan de binnenzijde zijn diverse bermbreedtes en –hoogtes te onderscheiden. De verschillen zijn te verklaren door de ligging van de Houtribweg (N307). Aan de buitenzijde is overal het standaard profiel aanwezig: boventalud 1:3, ondertalud 1:5, standaard buitenberm, breukstenen teen. Het hoogte-tekort voor dit dijktraject voor zichtjaar 2080 en 10 l/s/m golfoverslagdebiet is circa 50cm. Daarnaast voldoet de gehele buitendijkse dijkbekleding niet aan de norm.



Figuur 5-7: Profielen AHN Locatie 5 (bron: HKV Profielengenerator)

Dijkvak 5 Parkhaven - Houtribhaven - Onderdeel van de Baaidijk (van dp33.9 tot dp34.9)
Het vijfde hoofddijkvak is representatief voor de dijk langs Parkhaven/Houtribhaven, in Figuur 5-8 worden dwarsprofielen getoond Een bijzonder dijkvak met lokaal voorland, relatief robuuste havendammen die de haven beschermen en zowel binnen- als buitendijk weinig ruimte om de dijk te versterken. Binnendijks bevinden zich jachthavens en op de binnenberm ligt een autoweg. Voor nu (tot zeef 1) is gekozen om dit

dijkvak als één geheel te zien. In volgende ontwerploops kan vanwege het variërende karakter van dit dijktraject mogelijk gekozen om dit dijkvak op te delen in kleinere trajecten. De teenbescherming en de huidige zetsteenbekleding op het ondertalud van dit dijktraject zijn -vanwege de luwte van de havendammen- goedgekeurd, wel resteert een opgave voor GEKB. Het hoogte-tekort voor dit dijktraject voor zichtjaar 2080 en 10 l/s/m golfoverslagdebiet is circa 70cm.



Figuur 5-8: Profielen AHN Locatie 6 (bron: HKV Profielengenerator)

Duiding dijkvakindeling
De dijkvakindeling wijkt af van de dijkvakindeling zoals aangehouden in de veiligheidsanalyse. In de veiligheidsanalyse is namelijk per faalmechanisme een specifieke vakindeling opgesteld. De voorgestelde nieuwe dijkvak-indeling wordt voor de keuze van de mogelijke alternatieven toegepast, waarbij de hoofddimensies (geometrie en dijkbekleding) van de dijk centraal staan.

Overgangen tussen de verschillende vakken en binnen de vakken zelf (verticale en horizontale overgangen) zijn belangrijk voor de stabiliteit van de (bekledings)vakken als geheel. Aan deze overgangen kan -in het stadium van de verkenningsfase- niet kwantitatief gerekend worden. Uitgangspunt voor de verkenningsfase is dat de overgangen stabiel kunnen worden gemaakt bij verdere uitwerking in de planfase en definitief in het detailontwerp.

5.5 Ontwerplevensduur dijkversterking

Het uitgangspunt voor de verkenningsfase is een ontwerplevensduur (planperiode) van 50 jaar voor versterking in grond en 100 jaar voor de constructies. De versterking is in 2027 afgerond, waardoor de planhorizon in het jaar 2077 zou liggen. Echter, beleidsmatig is bepaald dat het meerpeil tussen 2050 en 2080 in totaal met 30 cm stijgt, waarna verdere stijging stopt omdat dit onwenselijk is voor de vele functies in en om het IJsselmeer. Het waterschap hanteert na 2100 echter een meerpeilstijging van 1 cm/jaar, wat in dit ontwerp alleen effect heeft op eventuele constructies, die vooralsnog niet zijn voorzien.
Het ligt daarom voor de hand om het jaar 2030 als startwaarde voor de versterking aan te houden, zodat de volledige (beleidsmatige) meerpeilstijging tot 2080 in het ontwerp wordt meegenomen.

De ontwerplevensduur voor de dijkversterking voor de veiligheidsanalyse/verkenningsfase is dus:

- Grondconstructies: ontwerplevensduur 50 jaar en zichtjaar 2080 (inclusief peilstijging 30 cm)
- Constructieve elementen: ontwerplevensduur 100 jaar en zichtjaar 2130 (inclusief peilstijging 60 cm).

In ontwerploop 1, tot zeef 1 (keuze kansrijke alternatieven) worden geen andere keuzes omtrent ontwerplevensduur en zichtjaar beschouwd. De versterkingsopgave voor de toetssporen bekleding en hoogte is dusdanig stevig, dat een opgave niet zal vervallen bij een kortere planperiode. Hierdoor wordt de keuze voor de planperiode niet alternatief-onderscheidend geacht in ontwerploop 1 tot zeef 1. In ontwerploop 2 (uitwerking kansrijke alternatieven) zal de keuze voor de planperiode nader onderbouwd worden.

In het ontwerp dient het verwachte effect van klimaatverandering (zeespiegelstijging, meerpeilstijging en/of toename rivierafvoer) gedurende de geplande levensduur te worden meegenomen.
Voor het IJsselmeer is het beleidsuitgangspunt dat het IJsselmeerpeil tot 2050 het huidige peil heeft en vervolgens tot 2080 met 0,01m per jaar stijgt. Na 2080 stijgt het meerpeil niet meer mee met de zeespiegel. Dit betekent effectief dat in 2080 met 30 cm meerpeilstijging rekening gehouden wordt en voor alle jaren daarna ook met 30 cm. Het effect van een hogere meerpeilstijging (bijvoorbeeld 65 cm of 100 cm) wordt in de verkenning wel verkend. In ontwerploop 1 zal de benodigde kruinhoogte *kwantitatief* worden bepaald bij zowel 30, 65 als 100 cm meerpeilstijging, op een vergelijkbare wijze als bij de voorlopige bepaling van de ontwerpopgave medio 2020. De impact van de hogere meerpeilen op de geotechnische faalmechanismen, de grasbekleding en de steenbekleding zal *kwalitatief* worden beschouwd. Het resultaat van deze beschouwing is de globale impact op zowel het ruimtebeslag als de kosten wanneer extra meerpeilstijging wordt meegenomen in het ontwerp.

Voor de belastingen op het IJsselmeer is met name de wind relevant. Er is momenteel geen aanleiding om aan het eind van de planperiode (2080) van een andere windstatistiek uit te gaan dan nu geldt. In de verkenningsfase wordt er vanuit gegaan dat de windbelasting in 2080 gelijk is aan die van nu.

De invloed van klimaatverandering op het dijkontwerp is hiermee relatief beperkt. Voor ontwerploop 1 volstaan de standaard ontwerplevensduren van 50 en 100 jaar. In ontwerploop 2 zal middels een LCC analyse gekeken worden of de ontwerplevensduren (economisch) kunnen worden geoptimaliseerd.

De levensduur van bouwmaterialen staat los van de ontwerplevensduur van de dijk. Als de levensduur van bouwmaterialen korter is dan de ontwerplevensduur van de dijk (zoals bijv. asfaltbekledingen) wordt dit effect in een LCC analyse beschreven. Specifieke LCC uitgangspunten zijn niet opgenomen in deze notitie en worden in ontwerprapportages opgenomen.

5.6 Overstromingskans gedurende levensduur

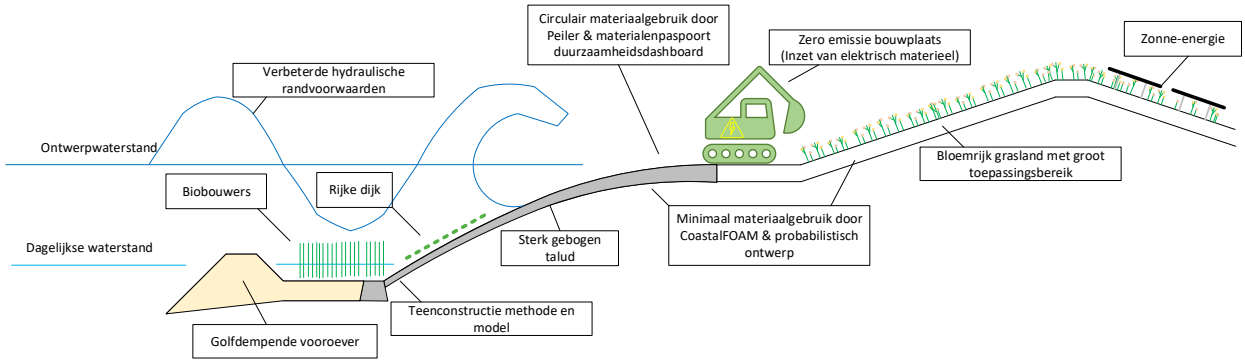
De overstromingskans van een traject dient elk jaar kleiner dan of gelijk aan de maximaal toelaatbare kans te zijn (zie Paragraaf 5.2), met uitzondering van de periode van 4 jaar na oplevering van de dijkversterking als hiermee hoge kosten kunnen worden vermeden. In deze periode geldt dat de veiligheid in geen enkel jaar kleiner mag zijn dan de overstromingskans direct voorafgaand aan de versterking. Dit uitgangspunt is gebaseerd op de Grondslagen voor hoogwaterbescherming [6]. Bij het uitwerken van het voorkeursalternatief wordt gecontroleerd of aan deze eis voldaan wordt.

5.7 Innovaties

In de verkenningsfase worden alle mogelijke bouwstenen en oplossingen verkend om de dijk te versterken zodat deze voldoet aan de waterveiligheidsnorm. Innovatie oplossingen zullen worden verkend

om bijv. de kosten van de versterking te verlagen of de inpassingsmogelijkheden te vergoten. Als nieuwe kennis wordt toegepast dient dit bij voorkeur te worden gevalideerd door ENW, alvorens het in het project toegepast kan worden.

In een eerste scan zijn in totaal 13 innovaties beoordeeld als direct relevant voor de verkenningsfase en zijn 17 innovaties als kansrijk voor de planuitwerkingsfase aangemerkt. Deze innovaties hebben vaak meer betrekking op materialisatie. De innovaties die direct in de verkenningsfase nader worden bestudeerd zijn visueel weergegeven in Figuur 5-9.



Figuur 5-9: Schets van oplossing met alle innovaties geselecteerd voor de verkenningsfase.

Hieronder worden kort de verschillende innovaties toegelicht en worden de voorziene vervolgacties in ontwerploop 1 kort beschreven. Voor een meer gedetailleerde beschrijving van de innovaties en meerwaarde voor dit project wordt verwezen naar Notitie Kansrijke Innovaties [3].

Biobouwers, golfdempende vooroevers en Rijke Dijk

De “groene” innovaties Biobouwers, golfdempende vooroevers en Rijke Dijk gaan goed samen. Biobouwers is een building-with-nature principe om op een natuurlijke manier sediment te vangen om een golfreducerende zone op te bouwen. Deze innovatie sluit mooi aan op het ontwerpprincipe van golfdempende vooroevers, waarbij de golfbelasting op de dijk wordt gereduceerd en een ecologisch gezien interessante zone tussen dijk en vooroever wordt gecreëerd. Het ontwerpprincipe van de Rijke Dijk is om de bekledingselementen van de dijk dermate te verrijken zodat organismen zich kunnen hechten aan de dijk. Daarmee kan de dijk ook voedsel bieden voor andere soorten en zo actief onderdeel zijn van het ecosysteem. Aandachtspunt bij deze innovatieprincipes is dat de beheer- en onderhoudsinspanning niet significant toenemen. Het te beheren areaal zal toenemen, daartegenover staat dat zeer waarschijnlijk het onderhoud aan de teenbestorting en de steenbekleding op de dijk (significant) kunnen afnemen, doordat de golfbelastingen hier sterk reduceren.

Om deze genoemde groene innovaties mee te nemen in de mogelijke alternatieven wordt er een ontwerpsessie georganiseerd in ontwerploop 1 (uitwerking mogelijke alternatieven). Het beoogde doel van deze sessie is om 1. breed ideeën te verzamelen om een voorontwerp op te stellen 2. breed draagvlak en enthousiasme te creëren en 3. de mogelijkheden van externe financiering voor zulke innovatieve oplossingen af te tasten.

(Bloemrijk) grasland met groot toepassingsbereik

Het toepassen van meer klei- en grasbekleding op de dijk heeft evidente kosten-, duurzaamheids- en biodiversiteitsvoordelen. Op het moment van schrijven van deze notitie wordt de sterkte van klei-

grasbekleding en bloemrijk gras onderzocht met proeven (o.a Deltagootproeven). Deze proeven bevinden zich in de afrondende fase.

Om deze innovatie mee te kunnen nemen in het ontwerp wordt in ontwerploop 1 aansluiting gezocht bij het onderzoek van de Noordelijke waterschappen. RHDHV heeft al de toezegging gekregen om aan de hand van de proefresultaten een toepassingsleidraad te schrijven die kan worden toegepast in het ontwerp van de IJsselmeerdijk. Deze kennis kan worden ingezet in ontwerploop 2 (uitwerking kansrijke alternatieven). Daarnaast zal in ontwerploop 1 contact worden gelegd met een tweetal start-ups; 1. een start-up die zegt dat ze een toevoegingsmiddel hebben ontwikkeld waardoor klei erosiebestendiger wordt en 2. een start-up die hergebruikmogelijkheden voor kunstgrasvelden onderzoekt.

Verbeterde hydraulische randvoorwaarden
Scherpe en reële hydraulische belastingen kunnen leiden tot een minder grote en stabiele versterkingsopgave en daarmee ook duurzaamheidswinst opleveren. Voor ontwerploop 1 is al een studie uitgevoerd naar de hydraulische belastingen en zijn enkele aanpassingen doorgevoerd [zie referenties 9 en 10] waarmee in ontwerploop 1 mogelijke alternatieven worden opgesteld. De echte innovatie zit echter in het toepassen (probabilistisch) van de hydraulische randvoorwaarden, zie volgende innovatie.

Probabilistisch ontwerpen voor GEKB/GEBU en teenconstructie
Probabilistisch ontwerp is ontwerpen met een geavanceerde rekenmethodiek. Het belangrijke voordeel van deze rekenmethodiek is dat er een directe relatie kan worden gelegd tussen de data, bijvoorbeeld waterstands- en golfdata, maar ook data uit gootproeven. Door deze directere relatie is het mogelijk om realistischer, mogelijk scherper en daarmee duurzamer te ontwerpen. Specifiek voor deze dijk met zware golfaanval lijkt het probabilistisch ontwerpen van de dijkteen en grasbekleding (bijvoorbeeld het combineren van faalmechanismen GEBU en GEKB) kansrijk en meerwaarde te bieden.

In ontwerploop 1 wordt samen met afstudeerders verder gewerkt aan de probabilistische ontwerp- en toetsmodule van een dijkteenconstructie. Een standaard methodiek hiervoor is nog niet opgenomen in het Wettelijk Beoordelingsinstrumentarium. De methodiek zal vanaf ontwerploop 2 (kansrijke alternatieven) worden ingezet in het ontwerpproces. Voor het probabilistisch ontwerpen van de grasbekleding (overgang harde/zachte bekleding (GEBU) en hoogte dijk GEKB)) worden de modellen die nu worden ontwikkeld (o.a. door Deltares en HKV) met elkaar vergeleken en toepasbaar gemaakt voor ontwerploop 2 (uitwerking van de kansrijke alternatieven). Om te onderzoeken of het probabilistisch ontwerpen alternatief-onderscheidend kan doorwerken in zeef 1 worden wel verkennende berekeningen uitgevoerd in ontwerploop 1.

CoastalFOAM in het ontwerpproces gebruiken en specifiek toepassen voor teenontwerp en een sterk gebogen buiten(onder)talud
Voor de IJsselmeerdijk wordt er ontworpen met golfbelastingen die niet in het bereik liggen van fysieke gootproeven. Veel ontwerpformules zijn echter afgeleid aan de hand van gootproeven. Voor de IJsselmeerdijk betekent dit dat huidige ontwerpformules mogelijk niet geschikt zijn, omdat ze buiten het geteste bereik liggen. De numerieke golfgoot, CoastalFOAM[5], heeft deze fysieke beperkingen niet en is tevens veel goedkoper dan een fysieke golfgoot.
In de ontwerploops van de verkenningsfase willen we CoastalFOAM toepassen, specifiek in het ontwerp van een optimale teenconstructie en de meerwaarde onderzoeken van een sterk gebogen talud op het ondertalud. In potentie kan een gebogen talud een grotere belasting aan dan een recht talud, doordat belastingen gelijkmatig verdeeld kunnen worden (dit is met name voor steenbekleding cruciaal).

[5] *CoastalFOAM is een Computational Fluid Dynamic (CFD) model dat met hoge nauwkeurigheid een golfgoot met verschillende hydraulische belastingen en dijkgeometrieën kan simuleren. CoastalFOAM maakt gebruik van de open source software OpenFOAM en is door een samenwerking van Boskalis, Deltares en RHDHV ontwikkeld door extra pakketten toe te voegen.*

Daarnaast kan een gebogen taludovergang een positieve werking op golfbreking en daardoor op de golfklapbelasting. Dit kan leiden tot reductie in materiaalgebruik.

Materialenpaspoort
Om circulair bouwen mogelijk te maken is het belangrijk om gedetailleerd te weten welke materialen nu onderdeel van de dijk vormen. Geregeld blijkt bij projecten dat materialen niet goed hergebruikt kunnen worden, omdat onvoldoende bekend is welke materialen exact zijn toegepast. Een materialenpaspoort van bouwprojecten is daarom essentieel om in de toekomst circulair bouwen mogelijk te maken. Voor dijkprojecten is dit nog geheel nieuw.

Het materialenpaspoort gaan we direct inzetten in ontwerploop 1 en gedurende de ontwerploop verder door ontwikkelen.

Duurzame energieopwekking voor/op/achter de dijk
De IJsselmeerdijk is een dijk die geassocieerd wordt met energie-opwekking met de Maxima-centrale en de windmolens langs de dijk. De windmolens worden al vervangen voor grotere exemplaren, maar er zijn ook kansen voor zonnepanelen. In de afgelopen jaren is de capaciteit van zonne-energie in Nederland flink uitgebreid. Een pilot voor de mogelijkheden voor zonne-energie op de dijk vindt plaats bij de Knardijk. Gezien de zuidelijke ligging van het binnentalud kan toepassing van zonne-energie hier interessant zijn. Er zijn al zonnepanelen die geïntegreerd zijn in dijkbekledingspanelen. Verder zijn drijvende zonnepanelen een optie die steeds vaker toegepast worden. Hiervan dient allereerst nagegaan te worden welke invloed deze hebben op de veiligheid van de dijk.

In ontwerploop 1 onderzoeken we de technische haalbaarheid van zonnepanelen voor, op of achter de dijk in relatie tot waterveiligheid. Kennis op dit vlak kunnen we deels vergaren bij de pilot zon op dijken. Om de financiële haalbaarheid te onderzoeken, werken we gelijktijdig een businesscase uit voor duurzame energieopwekking rond de IJsselmeerdijk.

Zero-emissie bouwplaats
Rijkswaterstaat wil vanaf 2030 alleen nog maar bouwplaatsen hebben zonder emissie, mogelijk volgen andere opdrachtgevers deze ambitie. Binnen het IJsselmeerdijk project willen we streven naar een zo laag mogelijke milieubelasting.

In ontwerploop 1 worden de (on)mogelijkheden van elektrisch bouwen verder onderzocht. Welke delen van het ontwerp zijn elektrisch te bouwen en wat is daarvoor nodig. Gedurende de verkenningsfase zullen de ontwikkelingen omtrent elektrisch materieel worden gevolgd en zullen eerste gesprekken met aannemers gevoerd worden betreffende dit thema. Hieruit moeten de volgende zaken aandacht krijgen: Welke risico’s zijn er? Welke belangen spelen er? Hoeveel procent duurder kan het project worden door zero-emissie doelstelling? Hoeveel extra tijd kost het?

Circulaire Peiler en duurzaamheidsdashboard
De Circulaire Peiler borduurt voort op de Circulaire Ontwerpprincipes van Rijkswaterstaat. Per projectfase kan aan elk principe een aantal punten worden toegekend, afhankelijk van de verwachte impact qua circulariteit. In de verkenningsfase kan de grootste winst qua circulariteit worden bereikt door te sturen op het voorkomen van materiaalverbruik, terwijl richting de Realisatiefase het reduceren van het brandstofverbruik verhoudingsgewijs een grotere impact zal hebben (i.e. ontwerp ligt op hoofdlijnen vast, waardoor het voorkomen van materiaalgebruik lastiger is/wordt). Met de tool kan eenvoudig worden bekeken in welke mate al invulling wordt gegeven aan de ontwerpprincipes en waar nog verbeterruimte ligt. De Circulaire Peiler is voorlopig alleen in de verkenningsfase van de Grebbedijk gebruikt.

In ontwerploop 1 wordt onderzocht of de Circulaire Peiler ook wordt toegepast voor dit project.

Duurzaamheidsdashboard
Specifiek voor dit project wordt gewerkt met een duurzaamheidsdashboard. Dit dashboard focust zich in vergelijking met de Circulaire Peiler veel meer op de resultaten qua milieu-impact, circulariteit en biodiversiteit. Het dashboard heeft als doel om vanaf de start van het ontwerpproces (dus al in ontwerploop 1) inzichtelijk te maken waar verbeteringen op het gebied van duurzaamheid zijn doorgevoerd en om te laten zien waar in het ontwerp kansen liggen om het ontwerp verder te verduurzamen. Waar de Circulaire Peiler fungeert als een verificatietool, heeft het duurzaamheidsdashboard als doel om inzichtelijk te maken wat de duurzaamheidsprestaties zijn van het project, de ontwikkeling die gedurende het project is doorlopen en als ondersteuning bij het maken van ontwerpkeuzes.

6 Technische ontwerpuitgangspunten (belastingen)

In dit hoofdstuk wordt toegelicht welke uitgangspunten worden gehanteerd tot zeef 1 en welke uitgangspunten mogelijk/waarschijnlijk gaan wijzigingen voor ontwerploop 2, waarbij de stap van kansrijke alternatieven naar VKA wordt gezet. Waterstanden en golven zijn opgenomen in een nieuwe hydraulische database, zie Paragraaf 6.1.6. Het ligt niet in de verwachting dat waterstanden en golven richting ontwerploop 2 nogmaals zullen wijzigen.

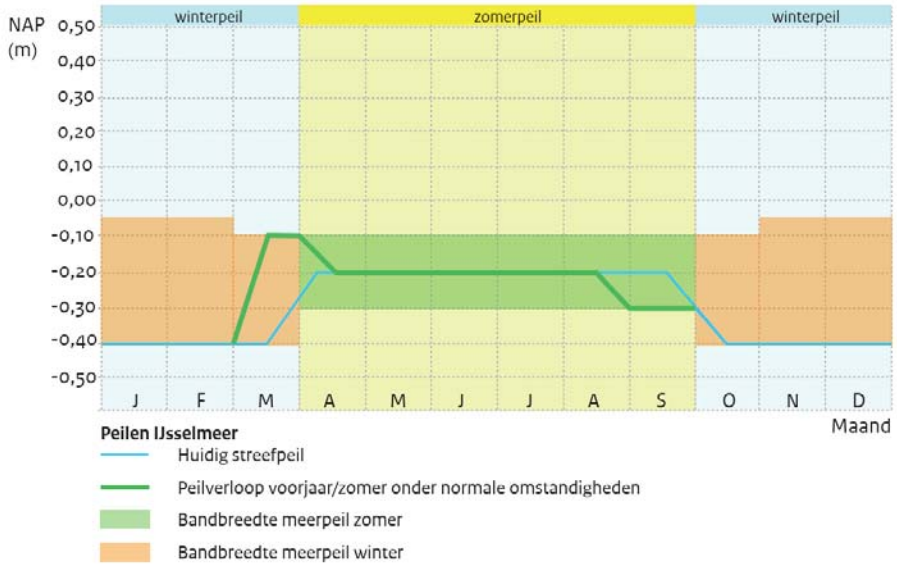
Voorziene aanvullingen voor ontwerploop 2 zijn:

- Geavanceerde probabilistische (belasting en sterkte in één model) rekenmethode voor graserosie buitentalud, kruin en binnentalud;
- Gedetailleerdere beschouwing van bodemdaling, zetting, klink, grondwaterpeilen, verloop freatische lijn en waterspanningen onder ontwerpomstandigheden.

6.1 Hydraulische belastingen

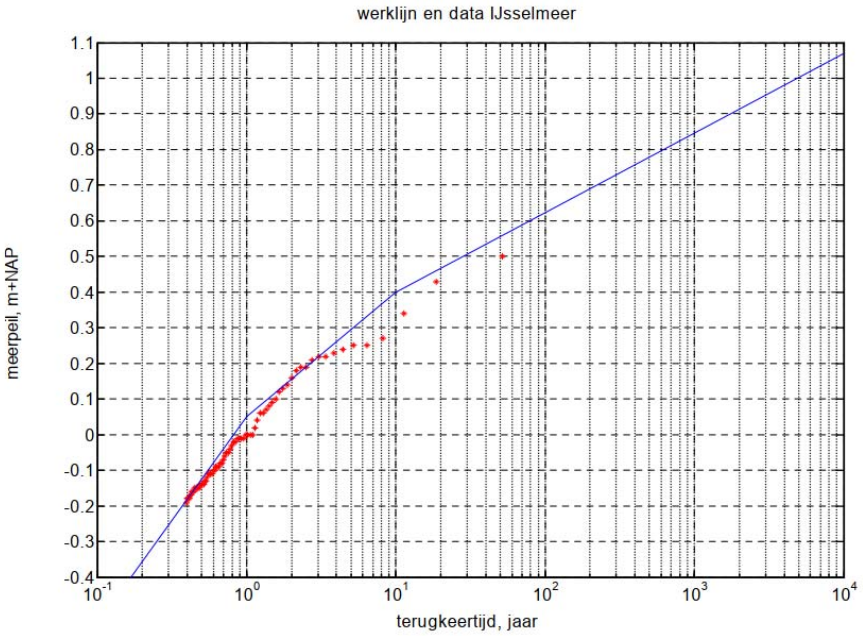
6.1.1 IJsselmeerpeil

Het meerpeil wordt vanwege diverse functies zo stabiel mogelijk op een afgesproken niveau gehouden. Deze afspraken zijn vastgelegd in het peilbesluit IJsselmeer (RWS, 2018) [11]. In de zomer ligt het streefpeil tussen -0,30 m en -0,10 m NAP. In de winter tussen -0,40 en -0,05 m NAP. Deze peilen worden echter beïnvloed door de dagelijkse omstandigheden, met name door de wind. Zie Figuur 6-1.



Figuur 6-1: Zomer- en winter(meer)peil in het IJsselmeer uit Peilbesluit IJsselmeergebied 2018 [X].

Uitgangspunt in de Verkenning is het huidige Peilbesluit en de in Paragraaf 5.5 beschreven meerpeilstijging in 2080, namelijk 30 cm.

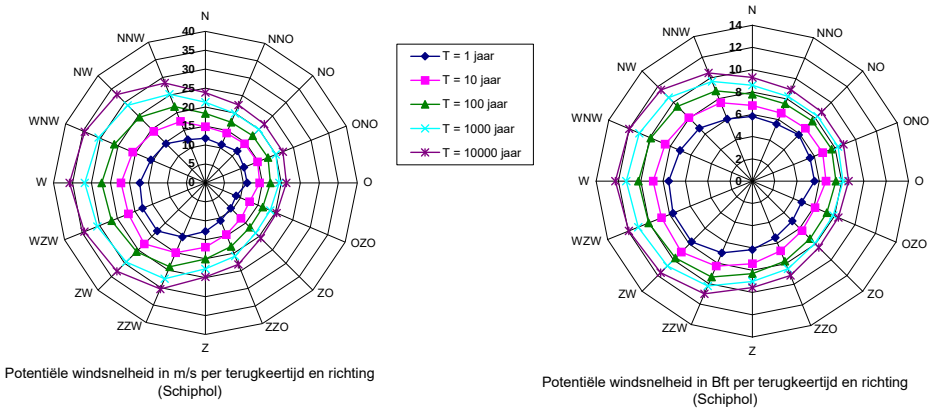


Figuur 6-2: Meerpeilstatistiek, zonder onzekerheden, zichtduur 15 dagen, drempel -0,2m +NAP (Geerse, 2006)

De standaard meerpeilstatistiek (Geerse, 2006) [12] is van toepassing. Deze statistiek is gelijk aan WBI2017 en (daarmee) conform OI2014v4, zie ook Figuur 6-2.

6.1.2 Wind

De (standaard) windstatistiek bij Schiphol is van toepassing. Deze statistiek is beschikbaar in Hydra-NL.



Figuur 6-3: Overschrijdingskansen potentiële windsnelheid Schiphol [12]

6.1.3 Waterstanden en golven

Door Deltares is in 2010 een WAQUA model gemaakt waarmee in 2011 in opdracht van RWS waterstandsberekeningen ('productieberekeningen') zijn gemaakt door Svašek & HKV [13]. Windgolven zijn in 2011 in opdracht van RWS door Svašek berekend met SWAN. De in 2011 voor de golfberekeningen gehanteerde SWAN versie voor de productieberekeningen was 40.72ABCDE. Deze versie is nog vigerend.

De achtergronden van de beschikbare waterstands- en golfberekeningen zijn beschreven in het rapport *Beschrijving totstandkoming Hydraulische Belastingen IJsselmeerdijk* [9].

De in 2011 berekende waterstanden en golven, opgenomen in de zogenaamde 'databases fysica', gelden nog steeds en zijn daarmee uitgangspunt voor de Verkenning. De tot aan de verkenning vigerende database is '*WBI2017_IJsselmeer_8-3a_v02*'.

In de database fysica (opzoektabel) zijn de volgende belastingcombinaties aanwezig:

Potentiële piekwindsnelheid [m/s]		Hoofdwindrichting [°N]		Meerpeil [m+NAP]	
14	U14	22,5	D022	-0.4	S01
19	U19	45,0	D045	+0.1	S02
22	U22	67,5	D067	+0.4	S03
25	U25	90,0	D090	+1.0	S04
28	U28	112,5	D112	+1.8	S05
31	U31	135,0	D135		
34	U34	157,5	D157		
38	U38	180,0	D180		
42	U42	202,5	D202		
		225,0	D225		
		247,5	D247		
		270,0	D270		
		292,5	D292		
		315,0	D315		
		337,5	D337		
		360,0	D360		

Figuur 6-4: Belastingcombinaties waterstand

Upot [m/s]	U10ow [m/s]	Windrichting [grd]	Meerpeil [m+NAP]
14.0	15.4	22.5	-0.40
19.0	20.6	45.0	-0.10
22.0	23.7	67.5	0.40
25.0	26.7	90.0	1.00
28.0	29.7	112.5	1.80
31.0	32.7	135.0	
34.0	35.6	157.5	
38.0	39.5	180.0	
42.0	43.3	202.5	
		225.0	
		247.5	
		270.0	
		292.5	
		315.0	
		337.5	
		360.0	

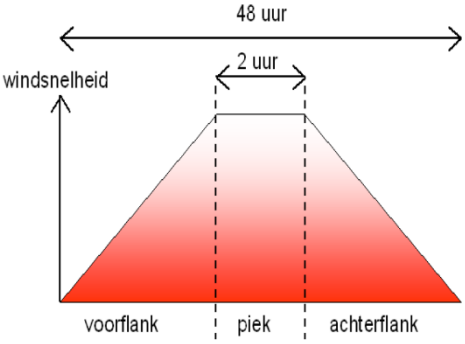
Figuur 6-5: Belastingcombinaties golven

6.1.4 Stormduur en waterstandsverloop

Het meerpeil wordt beïnvloed door de afvoer van de IJssel en de Vecht en het al dan niet kunnen spuien naar de Waddenzee, echter de stormduur is voor de rivierafvoeren te kort om het meerpeil significant te beïnvloeden. Het IJsselmeerpeil wordt daarom constant verondersteld tijdens een hoogwatergebeurtenis. De wind zorgt via wrijving voor scheefstand, die moet worden opgeteld bij het constante meerpeil. Opwaaiing/scheefstand neemt sneller toe naarmate de windsnelheid groter wordt. Daarnaast neemt de opwaaiing af bij grotere waterdiepte. Voor een benedenwindse waterstandsverhoging zal het water eerst enige tijd in deze richting moeten stromen en ook golven hebben tijd nodig om te groeien tot hun evenwichtswaarde. Het IJsselmeer reageert echter snel op harde wind, de maximale opwaaiing wordt al binnen ongeveer twee uur na de top van een storm bereikt. De wind is voor de IJsselmeerdijken langs Flevoland de bepalende factor.

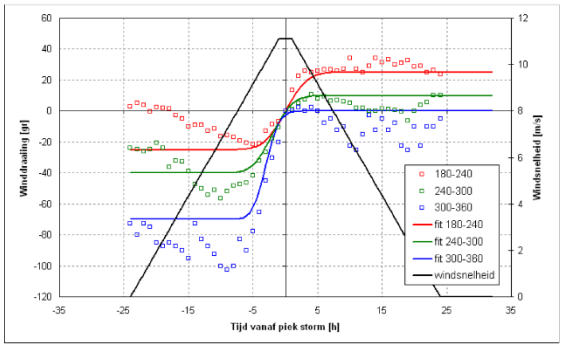
De wind draait meestal gedurende een storm en neemt ook in snelheid toe en weer af. Elke storm is echter uniek. Om toch met het verloop van stormen te kunnen rekenen in een wiskundig belastingmodel (Hydra-NL, Riskeer/HydraRing), wordt gebruik gemaakt van gestandaardiseerde 'waterstands-golfvormen' in de vorm van een trapezium met een opbouwende fase, een piek/top van bepaalde duur en een afbouwende fase.

Voor het IJsselmeer geldt een stormduur van 48 uur, volgens het trapezium zoals weergegeven in Figuur 6-6. Deze 48 uur staat voor het verloop van de wind. Pas bij hogere windsnelheden is er effect op de waterstanden, waardoor het verschil tussen 48 uur (wind) en 35 uur (standaard waterstandsverloop tijdens storm) is te verklaren. Dit windverloop is gelijk aan WBI2017 en wordt gebruikt voor onder meer het ontwerpspoor (faalmechanisme) Graserosie Buitentalud. Zie ook Hoofdstuk 7.



Figuur 6-6: Stormverloop IJsselmeer

In de WAQUA waterstandsberekeningen (RWS, 2011) [14] is het meerpeil telkens constant verondersteld gedurende het hoogwater, de opzet wordt dus alleen door de wind veroorzaakt, daarbij is voor 3 sectoren (180º-240º, 240º-300º en 300º-360º) een draaiing van de wind als functie van de tijd is toegepast. Zie Figuur 6-7.



Figuur 6-7: Veronderstelde draaiing wind tijdens een stormconditie

6.1.5 Recente aanpassingen aan belastingmodel en databases

Als onderdeel van deze Verkenning zijn begin januari 2021 enkele wijzigingen (rekeninstellingen en statistiek) doorgevoerd aan het belastingmodel en daarmee in de bestaande database '*WBI2017_IJsselmeer_8-3a_v02*'. De nieuwe database heeft de volgende werknaam gekregen: '*WBI2017_IJsselmeer_8-3a_v02_ PR4161*'. Hieronder zijn alle wijzigingen kort toegelicht.

Bias-correctie golfrandvoorwaarden
In 2019 is duidelijk geworden dat er een inconsistentie aanwezig is in de modelonzekerheden golfcondities. Om dit te herstellen zijn de volgende wijzigingen doorgevoerd:

- Huidige verwachtingswaarde modelonzekerheid golfhoogte: 0,99. Dit is gewijzigd in 1,01.
- Huidige verwachtingswaarde modelonzekerheid golfperioden: 0,96. Dit is gewijzigd in 1,04.

Deze wijziging zal naar alle waarschijnlijkheid resulteren in een (beperkte) verhoging van de golfbelastingen.

Modelonzekerheid waterstand
Op basis van het onderzoek uitgevoerd, gerapporteerd in *Hydraulische Belastingen IJsselmeerdijk, Voorstel tot actualiseren databases en te gebruiken rekentechnieken* [10] is er voldoende onderbouwing om de modelonzekerheid waterstand met 5cm te verlagen. Uit de illustratiepunten (rekenpunten) volgen

daarnaast geen onrealistisch grote bijdrages van de onzekerheden, waarmee dit argument vervalt om de onzekerheid verder te reduceren. In de nieuwe database is dan ook de volgende wijziging doorgevoerd:

- Huidige standaarddeviatie modelonzekerheid waterstand: 0,30m. Dit is gewijzigd in 0,25m.

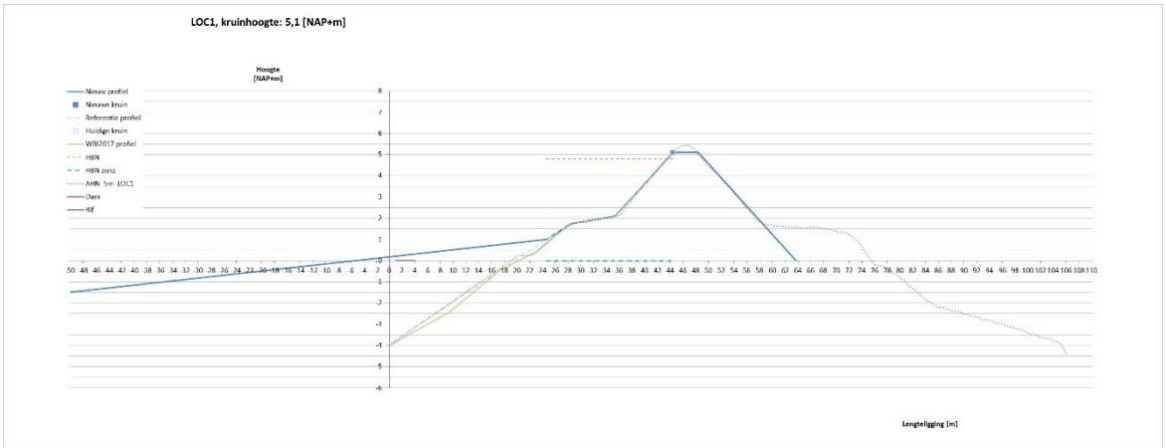
Deze wijziging resulteert in een (beperkte) verlaging van de waterstanden.

Correlatie spectrale golfhoogte (H_{mo}) en piekperiode (T_p)
In sommige gevallen kan de toevoeging van onafhankelijke modelonzekerheden op de golfhoogte en -periode resulteren in onrealistisch steile golven. Eén van de mogelijke oorzaken is de veronderstelling dat deze modelonzekerheden onafhankelijk zijn, terwijl er in werkelijkheid een correlatie aanwezig is. Deze correlatie is in de nieuwe database opgenomen door middel van een correlatieparameter voor de modelonzekerheden golfhoogte en golfperiode van 0,37 conform Figuur 3.2 van [Smale, 2017) [15].

De bestaande Hydra-NL (v. 2.7.1) is echter niet in staat om de correlatie te verwerken. De nieuwste Hydra-NL (v.2.8.0) is wel in staat om dit te doen en zal dan ook gebruikt worden voor het afleiden van de golfcondities.

6.1.6 Invloed voorland op belastingen

Om het effect van voorland maatregelen te beschouwen wordt in ontwerploop 1 gebruik gemaakt van de dam- en voorlandmodule[6], beschikbaar in Hydra-NL 2.8. Deze module reduceert de golfhoogte, maar niet de golfperiode. Ter illustratie het resultaat van een berekening met de voorlandmodule in Hydra-NL, Figuur 6-8.



Figuur 6-8: Rekenen met voorland, principe

Het geschematiseerde profiel met voorland (blauw) leidt in dit geval tot het volledig vervallen van de hoogteopgave. Het voorland bij Flevokust en het strand bij Flevo Marina wordt in de verkennende berekeningen voor de belastingen meegenomen.

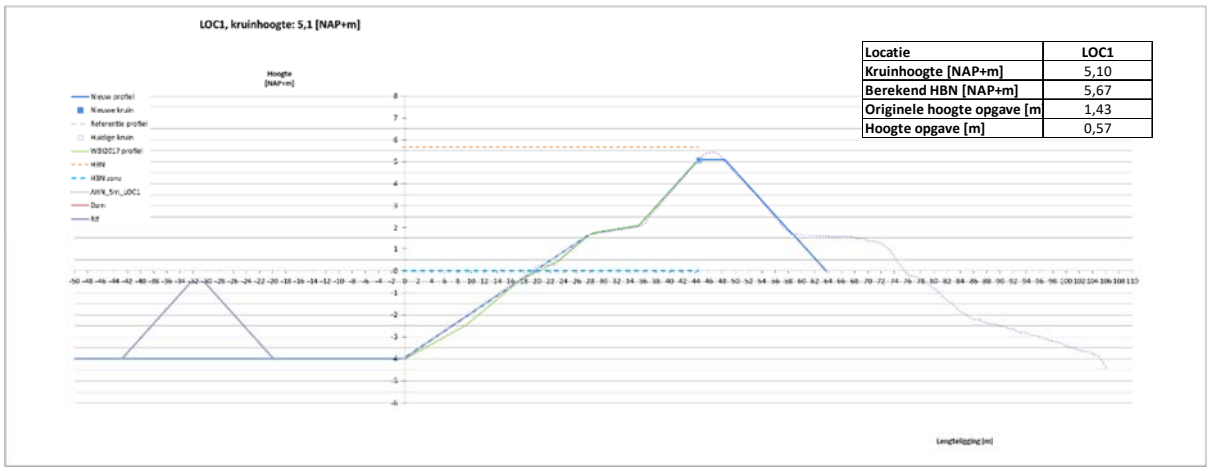
6.1.7 Invloed mogelijke systeemmaatregelen op belastingen

Naast voorland zijn ook andere maatregelen mogelijk die de belastingen (met name de golven) verlagen, zoals kunstmatige riffen, havendammen en dammen met daarop een weg door het IJsselmeer. Om de invloed van dergelijke maatregelen in ontwerploop 1 richting kansrijke alternatieven te bepalen, wordt gebruik gemaakt van twee methoden.

[6] https://www.helpdeskwater.nl/publish/pages/157026/handleiding_gebruik_dam-_en_voorlandmodule_2_0.pdf

1. Dammen, havendammen en riffen parallel aan en nabij de dijk

Voor deze maatregelen wordt, net als bij voorland, gebruik gemaakt van de Dam en Voorlandmodule, met de optie 'DAM'. Dit is conform de werkwijze bij de nadere veiligheidsanalyse. In Figuur 6-9 een voorbeeld van een rekenresultaat met een rif op NAP -0,5m. De hoogteopgave (berekende HBN bij 10 l/s/m) is in dit voorbeeld met bijna 90cm verkleind.



Locatie	LOC1
Kruinhoogte [NAP+m]	5,10
Berekend HBN [NAP+m]	5,67
Originele hoogte opgave [m	1,43
Hoogte opgave [m]	0,57

Figuur 6-9: Rekenen met een (haven)dam of rif, principe.

De havendammen bij Parkhaven en Houtribhaven worden als standzeker verondersteld in 2080 en dus in in de verkennende berekeningen van de hydraulische belastingen meegenomen.

2. Dammen loodrecht op de dijk of verder weg in het IJsselmeer gelegen

Maatregelen in het watersysteem die nog tot de mogelijke alternatieven behoren hebben invloed op waterstanden en/of golven. Te denken valt aan de afsluiting van de Baai van Van Eesteren.

Voor afgesloten dammen gelden de volgende uitgangspunten:

- Meerpeil: maximale waterstand IJsselmeer (-0.05 m+NAP, winter.)
- Hoogwaterstijging: conform meerpeilstijging HBN berekeningen (0.3m)
- Windopzet: oplossing van de differentiaalvergelijking voor een meer (κ = 2,2*10-6)
- Bodem: op basis van WBI-profiel (-4 m+NAP)
- Strijklengtes; op basis van de nieuwe situatie in noordelijke richting.
- Golfhoogte/Golfperiode: Sverdrup-Munk-Bretschneider formule (u_{10} van 33 m/s)
- Golfoverslaghoogte: Manual on wave overtopping of sea defences and related structures (EurOtop, 2016) [16] inclusief 0.2 meter zetting.

Voor combinaties met een halfgesloten dam gelden de volgende uitgangspunten:

- Toetspeil: waterstand IJsselmeer bij terugkeertijd 10.000 jaar (2 m+NAP)
- Hoogwaterstijging: inbegrepen conform waterstandberekening (Hydra-NL)
- Windopzet: inbegrepen conform waterstandberekening (Hydra-NL)
- Bodem: op basis van WBI-profiel (-4 m+NAP)
- Strijklengtes; op basis van de nieuwe situatie in noordelijke richting.
- Golfhoogte/Golfperiode: Sverdrup-Munk-Bretschneider formule (u_{10} van 33 m/s)
- Golfoverslaghoogte: Manual on wave overtopping of sea defences and related structures (EurOtop, 2016) inclusief 0.2 meter zetting.

6.1.8 Rekenmethode Hydraulische belastingen

In ontwerploop 1 is Hydra-NL in principe de applicatie voor de bepaling van de hydraulische belastingen op de IJsselmeerdijk, zowel voor de diverse bekledingen faalmechanismen (gras, steen) als voor de geotechnische mechanismen. Beschikbaar is versie 2.8, deze is nog niet formeel door RWS uitgeleverd, maar kan, in overleg met RWS, in dit project wel al gebruikt worden. De kwaliteitsborging op deze versie is al uitgevoerd, het wachten is op formele uitlevering door RWS. Met Hydra-NL 2.8 kunnen waterstanden en golven bij bepaalde frequenties en op verschillende dijkniveaus worden berekend, gegeven de database zoals beschreven in Paragraaf 6.1.5.

In de aanloop naar ontwerploop 1 wordt echter nog een analyse uitgevoerd naar de inzetbaarheid van een geavanceerd probabilistisch cumulatief overbelastingsmodel (HKV en Deltares), waarbij het falen van het gras op de kruin en het binnentalud (GEKB) samen wordt beschouwd met het falen van het gras op het buitentalud (GEBU). Het betreft immers dezelfde golven voor GEBU en GEKB en de dijk faalt door graserosie maar één keer. Toepassen van het nieuwe model zou betekenen dat de eis voor GEBU en GEKB gecombineerd lager wordt dan voor GEBU afzonderlijk. De verwachting is echter dat de resultaten van deze analyse niet alternatief-onderscheidend zijn. In dat geval blijft voor ontwerploop 1 Hydra-NL de applicatie waarmee de benodigde kruinhoogte wordt bepaald, is de oorspronkelijke faalkansruimteverdeling van kracht en wordt -specifiek voor de klassieke alternatieven- een vaste overgangshoogte van harde bekleding/zachte bekleding aangenomen.

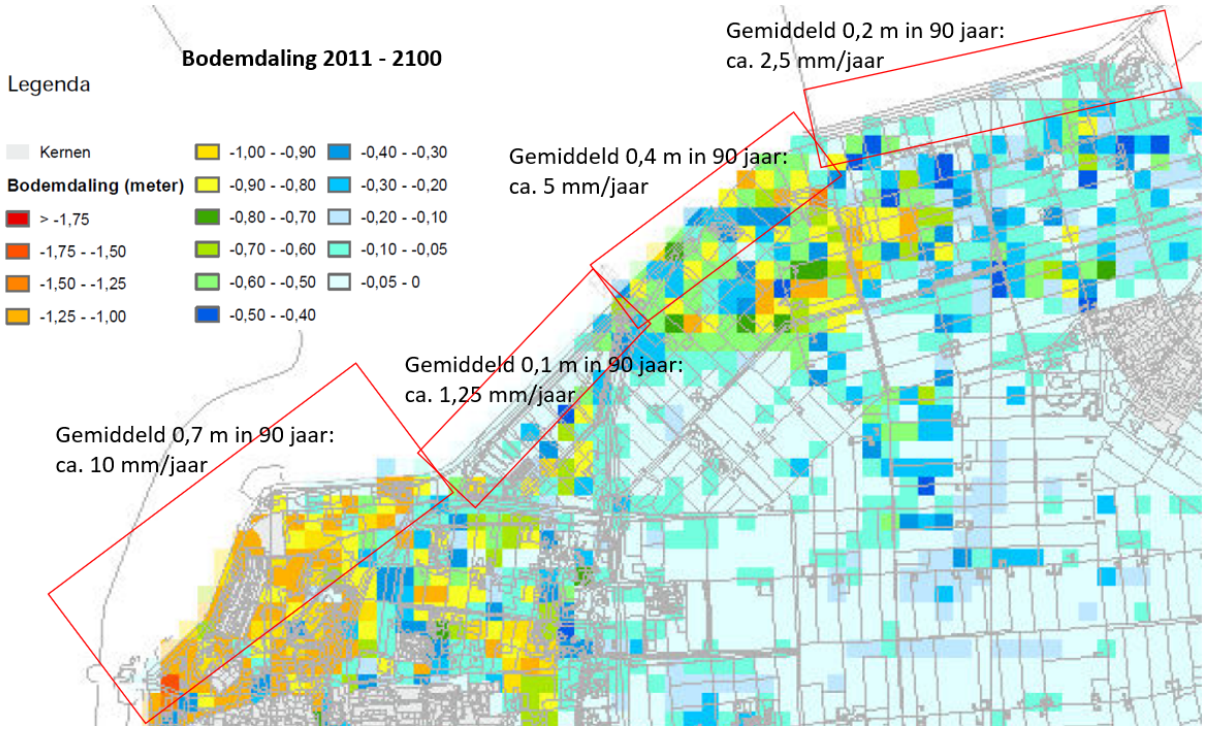
In ontwerploop 2 is voor meerdere ontwerpsporen probabilistisch rekenen voorzien. Voor graserosie (gecombineerd GEBU/GEKB) is in ontwerploop 2 in elk geval probabilistisch rekenen voorzien, ofwel met (een schil om) HydraRing ofwel met Python-scripts.

6.2 Bodemdaling, zetting en klink

De totale maaiveldzakking omvat de volgende drie componenten:

1. Bodemdaling: resultante van alle (natuurlijke) bodemdalingsprocessen, waaronder oxidatie van veen, rijping en compactie;
2. Zetting: proces waar de ondergrond onder invloed van een (nieuw aangebrachte) belasting wordt samengedrukt;
3. Klink: compactie van het aangebrachte materiaal onder invloed van het eigen gewicht. Deze componenten tezamen bepalen de totale maaiveldzakking.

<u>Bodemdaling</u>
Uit de “Bodemdalingskaart Flevoland” (Grontmij, 2012) [17] is onderstaande figuur ontleend. Op basis hiervan is een indeling gemaakt in 4 trajecten, waarin een verschillende gemiddelde jaarlijkse bodemdaling van toepassing is. De grootte van de bodemdaling hangt voornamelijk samen met de aanwezigheid van veenlagen hoog in het bodemprofiel. De genoemde waarden zijn van toepassing op het oorspronkelijk bodemprofiel, het achterland vanaf de binnenteen van de dijk. Voor bodemdaling van het dijklichaam wordt voorgesteld uit te gaan van ca. 1 mm/jaar.



Figuur 6-10: Prognose Bodemdaling 2011 – 2100. Ontleend aan Bodemdaling Flevoland (Grontmij, 2012)

Zetting

Door het aanbrengen van ophoogmateriaal ten behoeve van de dijkversterking, zal zetting optreden. De omvang van de te verwachten zetting zal worden berekend met behulp van het programma D-Settlement. De samendrukkingsparameters zullen worden afgeleid op basis van tabel 2b uit NEN-9997. Tevens zal inzicht worden gegeven in het tijd-zettingsverloop.

Klink

Voor klink van klei wordt rekening gehouden met 10% van de ophoging; voor zand wordt rekening gehouden met een 5% van de ophoging.

6.3 Grondwaterstanden

De grondwaterstand is met name relevant voor het geotechnisch ontwerp. Polderpeilen, slootpeilen, het verloop van het freatische vlak en het verloop van de waterspanningen in de watervoerende lagen zijn locatieafhankelijk en zullen dan ook per profiel worden geschematiseerd, analoog aan de wijze waarop dat bij de beoordeling en in de nadere veiligheidsanalyse is gedaan. De in het Technisch Rapport Waterspanningen [19] bij dijken beschreven schematiseringswijze is van toepassing. Uitgangspunt in ontwerploop 1 is dat de buitenwaterstand aan het einde van de planperiode 30 cm hoger is dan nu, wat vanzelfsprekend doorwerkt in de waterspanningen en het verloop van het freatisch vlak.

De te raadplegen databronnen voor ontwerploop 1 zijn onder meer:

1. Logboek STBI, Macrostabiliteit binnenwaarts. November 2018 [18], inclusief de bijlagen 7 (schematisatie waterspanningen) en 9 (toename freatisch vlak door overslag)
2. Polderpeilen en slootpeilen, afkomstig uit het peilbesluit zoals opgenomen in het beheerregister van waterschap Zuiderzeeland, online toegankelijk via de interactieve kaart (https://geo-zzl.opendata.arcgis.com/)
3. https://data.nhi.nu/

4. Voor de indringingslengte, d.w.z. de verticale afstand aan de onderzijde van de slecht doorlatende deklaag waarover de waterspanning in de deklaag verandert bij waterspanningsvariaties in de watervoerende zandlaag, wordt de standaard waarde uit de WBI2017 schematiseringshandleiding macrostabiliteit aangehouden.
5. De dikte van het watervoerend pakket (aquifer) wordt overgenomen uit de beoordeling en bedraagt 30 meter.
6. Doorlatendheden van de pleistocene zanddeklagen worden overgenomen uit de beoordeling. Er is in alle scenario's sprake van een fijne dekzandlaag (SOS-eenheid P_Wdz_zf) met $k_{gemiddeld}$ = 20 m/dag en daaronder de grovere afzettingen P_Rg_zm en P_Mg_zm, beide met een $k_{gemiddeld}$ = 36 m/dag.
7. De doorlatendheden van de holocene deklaag (klei /veen), direct naast het zandcunet van de dijk, wordt overgenomen uit de beoordeling. Voor de deklaag van het IJsselmeer (IJsselmeerbodem) is bij de beoordeling (veilig), een factor 4 groter dan wat blijkt uit het regionale grondwaterstromingsmodel Azure, op k_v = 0,001 m/dag gekozen. De doorlatendheid van de deklaag in het achterland is aangenomen op 0,05 m/d, wat overeenkomt met de waarden voor de deklaag uit het regionale
8. Het grondwaterstromingsmodel Azure.

6.4 Verkeersbelasting

Op de kruin van de IJsselmeerdijk ligt geen weg, zodat daar ook géén verkeersbelasting van toepassing is. Op de buitenberm ligt een onderhoudspad en op de binnenberm ligt op een groot deel van het tracé een verkeersweg.

In de Technische Leidraden is de standaard verkeersbelasting op een dijk met een weg 13,3 kN/m, dit is equivalent aan een aaneengesloten rij vrachtwagens met zand op de dijk. Deze verkeersbelasting zal, zeker onder normomstandigheden bij dit dijktraject niet optreden en past daarom ook niet goed bij de overstromingskansbenadering. In ontwerploop 1 wordt daarom zonder verkeersbelasting onder extreme omstandigheden gerekend.

6.5 Aardbevingsbelasting

Aardbevingsbelasting speelt geen rol. Het gebied is niet aardbevingsgevoelig, de fundering van de dijk is stabiel (cunet, zandkern) en er is geen correlatie tussen een eventuele aardbeving en een hoogwatersituatie.

6.6 Overige belastingen

Op het IJsselmeer kan kruiend ijs voorkomen dat over de dijk heen schuift en daarmee de dijkbekleding (steen, asfalt, gras) kan beschadigen. Langs bijvoorbeeld het eiland Marken op het Markermeer zijn daarom op diverse plaatsen ijsbrekers geplaatst, vooral ook om bebouwing achter de dijk te beschermen.

Kruiend ijs is géén belasting die bepalend is voor de keuze van mogelijke alternatieven of het uiteindelijke VKA. Het is wél een aspect om rekening mee te houden bij het ontwerp van de teenbestorting, en de bekleding buitentalud, kruin en binnentalud. Kruiend ijs drukt uitstekende obstakels weg en ijsschotsen kunnen zelfs dwars door de bekleding heen gedrukt worden. Wanneer kruiend ijs de dijk op wordt gedrukt kan een aanzienlijke berg met groot gewicht ontstaan. Dit gewicht drukt op de bermen en in uitzonderlijke gevallen ook op de kruin, wat leidt tot samendrukking en daarmee (lokale) verlaging van de dijk. Kruiend ijs heeft echter geen significante bijdrage aan de overstromingskans, vanwege het feit dat het relatief weinig voorkomt, niet over zeer grote strekkingen optreedt en ook niet tot een bres in de dijk leidt. Kruiend ijs is daarmee niet 'maatgevend' voor de overstromingskans.

Figuur 6-11: IJsbrekers tegen kruiend ijs op het Markermeer bij Marken (bron: @arjennoord)

Optredende schade zal direct na inspectie, zodra dat mogelijk is, door de dijkbeheerder hersteld moeten worden zodat de dijk weer gesteld staat voor een eventuele storm. Het is daarom voor de dijkbeheerder zeker een fenomeen om rekening mee te houden.

Het aanvaarrisico is verwaarloosbaar. Vanzelfsprekend kan een schip tegen de dijk aanvaren en daarmee voor (flinke) schade aan -met name- de steenbekleding zorgen. Ook hier geldt echter dat de bijdrage van dergelijke, zeer lokale, schade aan de totale overstromingskans marginaal is. Schade zal, net als bij het kruiend ijs, vanzelfsprekend wel zo snel mogelijk moeten worden hersteld. Uit een expertsessie voor de beoordeling van de Oostvaardersdijk bleek dat aanvaren geen significante bijdrage aan de overstromingskans heeft.

7 Technische ontwerpuitgangspunten (sterkte)

7.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden de technische ontwerpuitgangspunten beschreven die van toepassing voor de verkenningsfase. Er is geen waterveiligheidsopgave voor de geotechnische faalmechanismen. Aangezien er wel sprake is van een hoogteopgave hebben de onderzochte alternatieven echter mogelijk wel invloed op de geotechnische stabiliteit van de waterkering. De gehanteerde uitgangpunten bij de verificatie van de alternatieven is beschreven in deze paragraaf.

De indeling van dit hoofdstuk volgt de bekende faalmechanismen van een dijk, te weten:

- Macrostabiliteit binnen- en buitenwaarts (STBI en STBU)
- Microstabiliteit en piping (STMI en STPH)
- Asfaltbekleding (AGK en AWO)
- Grasbekleding (GEBU en GABU)
- Hoogte-Grasbekleding (GEKB en GABI)
- Stabiliteit steenzetting (ZST)
- Kunstwerken (HTKW, BSKW, PKW)
- Sterkte en stabiliteit punt- en langsconstructies (STKWp en STKWl)
- Voorland (VLGA, VLAF en VLZV)
- Niet-waterkerende objecten (NWO)
- Havendammen (HAV)

In dit hoofdstuk wordt toegelicht welke uitgangspunten worden gehanteerd in ontwerploop 1 tot en met zeef 1 en welke uitgangspunten mogelijk/ waarschijnlijk gaan wijzigingen voor ontwerploop 2, van kansrijke alternatieven naar VKA. Technische uitgangspunten hoeven voor ontwerploop 1 niet zeer gedetailleerd te zijn, omdat het doel van ontwerploop 1 is te komen tot kansrijke alternatieven. Het doel is niet om elk mogelijk ontwerp volledig te optimaliseren.

Mogelijke wijzigingen voor ontwerploop 2 zijn:

- Aanscherpen van geotechnische en geohydrologische parameters, naar aanleiding van uit te voeren veld en laboratoriumonderzoek (geotechnisch onderzoek, peilbuisdata etc).
- Wijziging faalkansbegroting op basis van onderzoek naar het uitsluiten of aanscherpen van de eis van met name piping.
- Stap van semi-probabilistisch rekenen naar probabilistisch rekenen voor de geotechnische mechanismen (STBI en STPH), gebruik makend van de HKV Fragility Curve Creator en RHDHV-PACE.
- Stap van semi-probabilistisch rekenen naar probabilistisch rekenen voor graserosie, met het geavanceerde GEBU/GEKB-model.
- De wijze van schematiseren van het effect van infiltratie door overslag op de freatische lijn.

7.2 Geotechniek

7.2.1 Binnenwaartse stabiliteit macrostabiliteit (STBI)

7.2.1.1 Faalkanseis en veiligheidsfactoren

De faalkanseis voor STBI is bepaald conform Bijlage III op de Toelichting bij de Ministeriële Regeling Veiligheid primaire waterkeringen 2017 [20]. De faalkanseis voor STBI is opgenomen in Tabel 7-1. De veiligheidsfactoren zijn opgenomen in Tabel 7-2.

Tabel 7-1: Faalkanseis voor STBI

Faalmechanisme	Norm [per jaar]	Lengte [km]	Faalkanseis op doorsnedeniveau [per jaar]
STBI	1/10.000 (max. toelaatbare kans)	22,8	$2,5 \cdot 10^{-7}$

Tabel 7-2: Veiligheidsfactoren voor STBI

Norm [per jaar]	Schadefactor [-]	schematiseringsfactor [-]	Modelfactor Uplift-Van [-]	Vereiste SF D-GeoStability [-]
Max. toelaatbare kans (1/10.000)	1,16	1,10	1,06	1,36

De minimaal benodigde stabiliteitsfactor in D-Stability is 1,36. Hierbij is uitgegaan van het grondmodel Critical State Soil Mechanics (CSSM), waarbij de materiaalfactoren gelijk aan 1,0 worden aangehouden. Voor STBI wordt gebruikt gemaakt van het glijvlakmodel van LiftVan. Voor de schematiseringsfactor is vooralsnog uitgegaan van 1,1. Aan de hand van aanvullende analyses moet dit uitgangspunt onderbouwd worden, zie hiervoor Paragraaf 7.2.1.7. Voor de ontwerpverificatie wordt in eerste instantie semi-probabilistische berekeningen gemaakt. In ontwerploop 2 wordt gebruik gemaakt van probabilistische berekeningen gebruikmakend van HKV-python scripts (STBI fragility curve creator).

7.2.1.2 Grondparameters

Er wordt ongedraineerd gerekend voor de slappe lagen. Dit houdt in dat ongedraineerde sterkteparameters moeten worden afgeleid om met het CSSM-model (Paragraaf 7.2.1.1) te kunnen rekenen. Hiervoor zijn twee technieken beschikbaar:

1. Aan de hand van een proevenverzameling op basis van laboratoriumtesten;
2. Aan de hand van sonderingen die worden uitgevoerd als “klasse 1” sonderingen (Protocol sonderen voor s_u bepaling, Deltares, 2019)[21].

In 2017 heeft Inpijn-Blokpoel 88 klasse 1 sonderingen uitgevoerd in het tracé van de waterkering. Aan de hand van de rapportage “POVM Actuele Sterkte: Activiteit 9 – Voorbeeld Schuifsterkteschematisering” [22] kunnen hieruit de ongedraineerde sterkteparameters (s_u en POP) worden afgeleid met behulp van de CPT-tool die hiervoor ontwikkeld is.

In ontwerploop 1 zijn de grondparameters zoals beschreven in Paragraaf 2.3 van het Logboek STBI, Macrostabiliteit binnenwaarts (Smeenge/Bouman, 2018) [18], onderdeel van de WBI2017 rapportage van het waterschap, uitgangspunt. In dit Logboek is onderscheid gemaakt tussen:

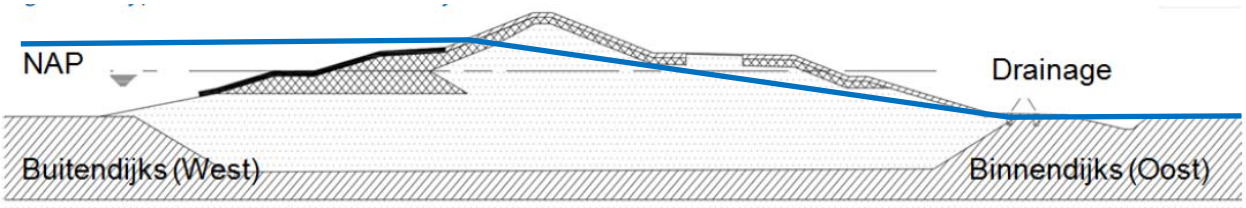
1. Universele parameters
    - Volumieke gewichten
    - Wrijvingshoek zand
    - Schuifsterkte ratio S
    - Sterktetoename exponent m
    - Gemiddelde buitenwaterstand (zie ook Paragraaf 6.1.1)
    - Indringingslengte
    - Dikte watervoerend pakket (aquifer)
    - Doorlatendheid pleistocene zandlagen
    - Doorlatendheid holocene deklagen
2. Vak afhankelijke parameters.
    - Polderpeil
    - Slootpeil
    - Deklaagdikte

- Waterspanningen watervoerende lagen
- Pre-overburden pressure (POP)

In ontwerploop 1 zijn alle parameters voor het jaar 2080 gelijk aan de waarden uit de beoordeling, peildatum 2023. Vanzelfsprekend wordt het effect van een 30 cm hoger meerpeil wel meegenomen in de geotechnische berekeningen. In het eerste kwartaal van 2021 vindt aanvullend (geotechnisch) grondonderzoek plaats. Mogelijk dat de resultaten aanleiding geven dat geotechnische en geohydrologische parameters wijzigen ten opzichte van de in de beoordeling gehanteerde waarden. Indien dat het geval is zal de TUN worden aangescherpt voor ontwerploop 2.

7.2.1.3 Freatische lijn

De schematisering van de freatische lijn is gebaseerd op Bijlage 1 van het “Technisch Rapport Waterspanningen bij Dijken” (TRWD, TAW, 2004) [19]. Vanwege het ontbreken van een waterremmende bekleding op het onderwater gelegen deel van het buitentalud en de aanwezigheid van een goed werkende drainage in de binnenteen, is de ligging van de freatische lijn aangepast ten opzichte van “Geval 2A: Zandkern en samendrukbare ondergrond”. De gehanteerde schematisering is weergegeven in Figuur 7-1.



Figuur 7-1: Schematisering freatische lijn IJsselmeerdijken

Deze aanname is mogelijk conservatief en wordt o.b.v. onder meer peilbuisdata aangescherpt in de aanloop naar ontwerploop 2, om zo tot een realistische inschatting te komen.

7.2.1.4 Stijghoogte watervoerende zandlagen

Het IJsselmeer staat in grote delen van het tracé pas op grote afstand van de dijk in contact met de Pleistocene zandondergrond. Ook in de dagelijkse situatie resulteert dit in een relatief hoge waterdruk (stijghoogte) in de zandondergrond. Onder maatgevende (hoogwater) omstandigheden zal deze stijghoogte mogelijk nog enigszins toenemen. De stijghoogte in de watervoerende zandlaag is niet eenduidig te schematiseren op basis van het TRWD [19]. Daarom is aangenomen dat de stijghoogte verloopt van MHW (100 m voor de kruin) naar Gemiddeld IJsselmeerpeil (100 m achter de kruin). Deze aanname is mogelijk conservatief en wordt o.b.v. onder meer peilbuisdata aangescherpt in de aanloop naar Ontwerploop 2, om zo tot een realistische inschatting te komen.

7.2.1.5 Maatgevend glijvlak

De nieuwe normen hebben betrekking op de kans dat op een locatie in een traject een waterkering faalt met een overstroming tot gevolg. De ontwerpberekeningen moeten hierop aansluiten. De maatgevende glijcirkel moet dan ook daadwerkelijk verband houden met het optreden van een overstroming. Zoals in de KPR factsheet werkwijze macrostabiliteit i.c.m. golfoverslag [23] staat beschreven, kunnen bij golfoverslag ook kleinere glijvlakken tot doorgaande erosie leiden. Dit betreft hoofdzakelijk dijken met een zandkern, conform IJsselmeerdijk. Vanuit opdrijven kunnen juist diepere glijvlakken maatgevend zijn, zodat het van belang is het maatgevend dwarsprofiel ver genoeg in het achter- (of voor)land door te zetten. Beide typen glijcirkels worden beschouwd, om te beoordelen of deze tot een overstroming kunnen leiden en daarom maatgevend kunnen zijn.

7.2.1.6 Schematisering dijkopbouw en ondergrond

De dijken van Flevoland zijn in de periode 1950-1957 aangelegd in een zandcunet. Hiervoor zijn de holocene kleilagen afgegraven. Van de holocene laag is circa 1 m achtergebleven om een waterdichte afsluiting te vormen tussen de dijkkern en de pleistocene ondergrond. De dijkkern is opgebouwd uit zand en afgedekt met een kleilaag (zie Figuur 7-1).

De samenstelling van de ondergrond is redelijk uniform. Van huidig maaiveld (circa NAP -4,5 m) tot circa NAP -11 m wordt een Holoceen pakket van 6,5 m samendrukbare grondlagen aangetroffen. De bovenste deklaag van 1,5 à 2,0 m dik, bestaat hoofdzakelijk uit zand- en/of silthoudende klei. Daaronder wordt tot aan de zandondergrond een 4,5 à 5,0 m dik pakket van veen en humeuze/siltige kleilagen aangetroffen. Vanaf circa NAP -11 m wordt de Pleistocene zandondergrond aangetroffen. Lokaal worden zandbanen aangetroffen, dit zijn restanten van voormalige kreken die het gebied doorsneden.

De schematisering in ontwerploop 1 wordt gebaseerd op de huidige beschikbare gegevens met betrekking tot bodemopbouw van de ondergrond. De vakindeling zoals gehanteerd in de veiligheidsbeoordeling wordt als basis in Ontwerploop 1 gebruikt. Er wordt in ontwerploop 1 géén gebruik gemaakt van D-Soilmodel (Stochastische Ondergrondschematisatie), de onzekerheden in de ondergrond worden verdisconteerd in via de Schematiseringsfactor. Gedurende de verkenning komen aanvullende gegevens beschikbaar. De gehanteerde schematisering zal op basis hiervan waar nodig bijgesteld en aangescherpt worden. Dit levert mogelijk een nadere indeling op dijkvakken op, of een nauwkeuriger afbakening tussen de verschillende typen bodemopbouw, bijvoorbeeld ter plaatse van de geulen. De nadere detaillering zal ook van invloed zijn op de te hanteren schematiseringsfactor.

Ter plaatse van zandbanen kan van een afwijkende bodemschematisering sprake zijn waardoor heel andere faalmechanismen dominant kunnen worden. Een hoger in het profiel gelegen zandbaan kan, mits in contact met het buitenwater, sneller tot opbarsten leiden, waardoor een andere glijcirkel kan ontstaan dan bij een profiel zonder zandbaan. Ook voor de andere faalmechanismen kunnen verschillende typen bodemopbouw tot andere ontwerpresultaten leiden. Dit zal in Ontwerploop 2 na uitvoering van extra grondonderzoek nader worden onderzocht.

7.2.1.7 Schematiseringsfactor

Volgens de methode beschreven in OI2014 wordt een schematiseringsfactor opgesteld voor macrostabiliteit, in overeenstemming met bijlage B van het Technisch Rapport Grondmechanisch Schematiseren (TRGS) bij Dijken (ENW, 2012) [24]. Hiervoor is op de helpdesk water een rekensheet beschikbaar. Voor het opstellen van de scenario's en hun waarschijnlijkheden wordt gebruik gemaakt van de schematisatie uit de voorverkenning. Op enkele plaatsen in het TRGS wordt nog aangegeven dat een ondergrens van 1,10 gehanteerd moet worden voor de schematiseringsfactor. In datzelfde rapport is ook aangegeven dat hiervoor eigenlijk geen theoretische basis bestaat. Voor de ondergrens van de schematiseringsfactor wordt in de verkenningsfase een waarde van 1,1 gehandhaafd.

7.2.1.8 Macrostabiliteit in combinatie met significante golfoverslag

Een verificatie bij een waterstand waarbij sprake is van significante golfoverslag (nader gespecificeerd in de KPR-factsheet "Voorlopige werkwijze macrostabiliteit i.c.m. golfoverslag OI2014v4") [23] en wordt gerekend met een gereduceerde schadefactor. In deze stabiliteitsanalyse moet rekening worden gehouden met het effect van infiltratie op de freatische lijn en op het feit dat een oppervlakkige glijcirkel de erosiebestendigheid van de dijk kan aantasten. Bij deze verificatie kan dus niet worden uitgegaan van de gebruikelijke zoneringsmethode en is maatwerk nodig. De resultaten van de geavanceerde toets "Afschuiving bekleding binnentalud tijdens overslag" (Deltares, 2002) [25] worden gebruikt om het effect van infiltratie op de freatische lijn te schematiseren. Aanvullende uitgangspunten worden opgenomen in de TUN voor ontwerploop 2.

7.2.1.9 Rekenmodellen Macrostabiliteit Binnenwaarts

De sterkteberekeningen worden uitgevoerd met het model D-Stability, versie 20.1 (Deltares, 2019)
De benodigde belastingen (waterstanden bij terugkeertijden en golfoverslag t.b.v. toename freatische lijn) worden uitgevoerd met Hydra-NL 2.8.

7.2.2 Buitenwaartse macrostabiliteit (STBU)

7.2.2.1 Faalkanseis en veiligheidsfactoren

De faalkanseis voor STBU is bepaald conform Bijlage III op de Toelichting bij de Ministeriële Regeling Veiligheid primaire waterkeringen 2017 [20]. De faalkanseis voor STBU is opgenomen in Tabel 7-3. De veiligheidsfactoren zijn opgenomen in Tabel 7-4.

Tabel 7-3: Faalkanseis voor STBU

Faalmechanisme	Norm [per jaar]	Lengte [km]	Faalkanseis op doorsnedeniveau [per jaar]
STBU	1/10.000 (max. toelaatbare kans)	22,8	$2,5 \cdot 10^{-6}$

Tabel 7-4: Veiligheidsfactoren voor STBU

Norm [per jaar]	Schadefactor [-]	schematiseringsfactor [-]	Modelfactor Bishop [-]	Vereiste SF D-GeoStability [-]
Max. toelaatbare kans (1/10.000)	1,09	1,10	1,11	1,34

De minimaal benodigde stabiliteitsfactor in D-Stability, versie 20.1 (Deltares, 2019) is 1,34. Hierbij is uitgegaan van het grondmodel Critical State Soil Mechanics (CSSM), waarbij de materiaalfactoren gelijk aan 1,0 worden aangehouden. Voor STBU wordt gebruikt gemaakt van het glijvlakmodel van Bishop. Voor de schematiseringsfactor is vooralsnog uitgegaan van 1,1. Aan de hand van aanvullende analyses moet dit uitgangspunt onderbouwd worden, zie hiervoor Paragraaf 7.2.2.2.

7.2.2.2 Grondparameters, ondergrondschematisatie en schematiseringsfactor

De grondparameters en de werkwijze voor het opstellen van de schematiseringsfactor voor STBU zijn gelijk aan STBI. De grondparameters zijn beschreven in Paragraaf 7.2.1.2 en de werkwijze voor het opstellen van de schematiseringsfactor is beschreven in Paragraaf 7.2.1.7.

7.2.2.3 Freatische lijn en stijghoogte

De schematisering van de freatische lijn bij een val na hoogwater wordt gebaseerd op de schematisering voor STBI (Paragraaf 7.2.1.3), waarbij het buitentalud verzadigd verondersteld wordt tot 0,3 m onder maaiveld. Er wordt uitgegaan van een van naar hetzelfde niveau als in de beoordeling, de grootte van de val neemt toe in de berekeningen voor 2080, doordat het meerpeil toeneemt.

7.2.2.4 Maatgevend glijvlak

Voor STBU worden alleen glijvlakken beschouwd die de bekleding doorsnijden. In geval de glijvlakken de bekleding doorsnijden is aangenomen dat dit leidt tot falen van de waterkering.

7.2.2.5 Rekenmodel Macrostabiliteit Buitenwaarts

De sterkteberekeningen worden uitgevoerd met het model D-Stability, versie 20.1 (Deltares, 2019)
De benodigde belastingen (waterstanden bij terugkeertijden) worden uitgevoerd met Hydra-NL 2.8. Er wordt (in deze fase) géén gebruik gemaakt van D-Soilmodel (Stochastische Ondergrondschematisatie) [26], de onzekerheden in de ondergrond worden verdisconteerd in via de Schematiseringsfactor.

7.2.3 Microstabiliteit en Gras Afschuiven Binnentalud (STMI en GABI)

Door het stijgen van de freatische lijn in de dijk (hoog water i.c.m. infiltratie) kan grondwaterstroming op/langs het binnentalud optreden of kunnen de drukken bij het binnentalud toenemen, leidend tot micro-instabiliteit of het -oppervlakkig- afschuiven van het binnentalud. Er kan sprake zijn van stroming loodrecht op het talud (zandige taluds onder water) of horizontale uitstroming van water (zandige taluds boven water). Wanneer de stroming tot het uitspoelen van zand leidt kan het talud instabiel worden. De stroming kan ook evenwijdig aan het talud zijn wanneer de toplaag meer doorlatend is dan de kern. Bij stabiliteit bij overslag treedt dit type stroming wel op. Tenslotte kunnen waterdrukken zich van binnenuit opbouwen onder een afdekkende kleilaag. Dit kan zich voordoen bij een zandkern met een afdekkende kleilaag aan de binnenzijde, zowel onder als boven water.

Hoewel er geen ontwerpopgave voor het faalmechanisme Microstabiliteit is, kunnen ontwerpoplossingen voor andere mechanismen in theorie voor een opgave zorgen. Daarom zal er altijd een ontwerpverificatie voor STMI en GABI plaatsvinden, echter niet in ontwerploop 1, tot zeef 1. Elk ontwerp dient te voldoen aan de eisen die aan STMI (en GABI) worden gesteld. De ontwerpaanpak in de verkenningsfase gaat ervanuit dat de situatie ten aanzien van dit faalmechanisme niet negatief wordt beïnvloed door de voorgestelde ontwerpoplossingen. Microstabiliteit is dus geen mechanisme dat bepalend is voor de trechtering richting het VKA.

In de volgende fase (uitwerking kansrijke alternatieven) worden alle ontwerpen gecontroleerd op alle bekende faalmechanismen en zo ook op STMI en GABI. Voor ontwerp wordt zodoende een integrale veiligheidsbeschouwing uitgevoerd. De huidige oplossing om te voorkomen STMI en GABI op kunnen treden, namelijk drainage, ligt ook als ontwerpoplossing voor de hand. Dat zou betekenen dat de huidige drainage wordt gecontroleerd op voldoende werking onder ‘maatgevende’ condities. Bij een binnenwaartse versterking moet de drainage mogelijk worden verlegd en als de capaciteit in het ontwerp ontoereikend is, dient deze te worden vergroot. Hierbij zal onder meer gebruik gemaakt worden van de Publicatie Drainagetechnieken van de HWBP-POV Macrostabiliteit [28] en van de meest recente peilbuiswaarnemingen in het gebied. Opgemerkt wordt dat drainage óók nodig is vanwege de bruikbaarheidseisen voor de wegen langs de dijk en om overtollig kwelwater tijdens dagelijkse omstandigheden af te voeren, zie ook Paragraaf 9.1.

Figuur 7-2: Ligging goed werkende drainage (dagelijkse omstandigheden). Bron: Logboek STMI (Fiktorie, 2018) [27]

7.2.4 Piping (STPH)

De ontwerpaanpak in de verkenningsfase gaat ervanuit dat de situatie ten aanzien van dit faalmechanisme niet negatief wordt beïnvloed door de voorgestelde ontwerpoplossingen. Dit wordt geverifieerd bij de uitwerking van kansrijke alternatieven. Hierbij wordt het OI2014v4 gevolgd.

Voor de ontwerpverificatie wordt gebruik gemaakt van probabilistische berekeningen met de rekenregel van Sellmeijer, gebruik makend van HKV-python scripts (piping fragility curve creator). De hiervoor benodigde parameters zijn reeds bij de beoordeling verzameld en beschreven in Paragraaf 2.3 van het Logboek STPH Piping (Smeenge, 2019) [29], behorende bij de WBI2017 rapportage. Het gaat om de volgende parameters:

- Grondparameters zijn beschreven in het Logboek Piping
- Doorlatendheid Pleistocene zandlagen
- Doorlatendheid Holocene deklaag
- Korreldiameter d_{70} bovenste zandlaag
- Dempingsfactor
- Verzadigd volumiek gewicht cohesieve deklaag
- Volumegewicht water
- Volumegewicht van zandkorrels onderwater

Net als voor macrostabiliteit geldt dat het (geotechnisch) grondonderzoek dat in het eerste kwartaal van 2021 wordt uitgevoerd daartoe aanleiding geeft, de parameters uit de beoordeling kunnen worden aangepast/aangescherpt, t.b.v. ontwerploop 2.

7.3 Bekledingen

7.3.1 Asfaltbekledingen (Asfalt Golfklap AGK en Asfalt Water Overdruk AWO)

Op de huidige IJsselmeerdijk ligt aan de buitenzijde alleen een onderhoudsweg en een fietspad op de berm. Het betreft wegenbouwasfalt en geen waterbouwasfalt en is aanwezig op:

- 17,60 - 32,50 Asfalt onderhoudsweg (berm)
- 32,05 - 34,68 Asfalt fietspad (berm)

Asfalt is niet voorzien als kansrijke bouwsteen voor het oplossen van het waterveiligheidstekort [5]. De onderhoudsweg en het fietspad moeten in het ontwerp worden *ingepast* en dan zwaar genoeg worden uitgevoerd om de golfklappen in 2080 te weerstaan. De benodigde dikte van het asfalt speelt geen rol in de afweging van de alternatieven. De benodigde dikte wordt wel bepaald om goede kostenramingen op te stellen.

7.3.1.1 Golfklappen (AGK)

Het faalmechanisme Asfalt Golfklap (AGK) beschrijft het falen van de waterkering als gevolg van golfklap op de asfaltbekleding op het buitentalud. In ontwerploop 2 zal een mogelijk onderhoudspad van asfalt worden ontworpen op basis van vigerende richtlijnen en handreikingen, in ontwerploop 1 wordt een standaard opbouw verondersteld.

7.3.1.2 Wateroverdrukken (AWO)

Het faalmechanisme Wateroverdruk bij Asfaltbekledingen (AWO) beschrijft het falen van de waterkering door overdrukken onder de asfaltbekleding als gevolg van waterindringing gedurende een storm. In een volgende ontwerploop zal een mogelijk onderhoudspad van asfalt worden ontworpen op basis van vigerende richtlijnen en handreikingen, in ontwerploop 1 wordt een standaard opbouw verondersteld.

7.3.2 Graserosie buitentalud (GEBU)

De grasbekleding op het buitentalud kan op twee eroderen als gevolg van golfbelasting: golfklap en golfoploop. Beide deelmechanismen worden in deze fase beschouwd. Omdat vooraf kan worden vastgesteld dat niet het hele talud kan bestaan uit een grasbekleding als gevolg van de grote golfbelasting, zal in praktijk de overgangshoogte tussen de harde bekleding (steen/asfalt) en grasbekleding bepaald worden. Dit is namelijk de hoogte waar de grasbekleding voldoende weerstand biedt tegen erosie.

Hydraulische belastingen
Hoofdstukken 5 en 6 beschrijven de achtergronden van de hydraulische belastingen. Deze zullen ook worden toegepast voor het ontwerp van de grasbekledingen. De huidige semi-probabilistische systematiek schrijft voor dat de grasbekleding moet voldoen bij hydraulische randvoorwaarden met een terugkeertijd getalsmatig gelijk aan de doorsnede-eis. Hieruit volgt op basis van het OI2014v4 dat de grasbekleding getoetst wordt aan de condities met een terugkeertijd van 1/666.667 per jaar (N=3, ω=0.045).

Sterkte
In ontwerploop 1 wordt als uitgangspunt gehanteerd dat er een erosiebestendige kleilaag wordt aangebracht met een dikte van minimaal 0,8 meter. De graszodekwaliteit wordt als ‘gesloten’ verondersteld. Dit is onafhankelijk van de zichtjaren. Richting ontwerploop 2 wordt onderzocht wat de invloed op de overstromingskans is van het niet altijd kunnen garanderen (vanuit beheer) van een gesloten grasmat. Het ligt niet in de verwachting dat de resultaten van dit onderzoek alternatief onderscheidend zullen zijn.

Methodiek in ontwerploop 1
In deze fase zal -specifiek voor de klassieke mogelijke alternatieven- in ontwerploop 1 een vaste overgangshoogte van de harde bekleding/zachte bekleding worden aangenomen. De huidige vigerende rekenmethodieken zijn erg gevoelig en leiden vaak tot zeer hoge (kruinhoogte) overgangshoogtes, waardoor deze in fase van het project niet goed toepasbaar zijn.

Om de laatste kennis en inzichten voortvloeiend uit de huidige deltagootproeven op dit gebied mee te nemen, wordt de gekozen overgangshoogte afgestemd met Deltares in ontwerploop 1. In ontwerploop 2 wordt de nieuwste kennis omtrent de overgangshoogte harde bekleding/zachte bekleding meegenomen in het ontwerpproces.

Software
De hydraulische randvoorwaarden worden afgeleid in de nieuwste versie van Hydra-NL (v.2.8.0) en de sterkteberekeningen met BM Gras Buitentalud (v.19.1.2).
Indien voor ontwerploop 1 alsnog het probabilistische cumulatieve overbelastingsmodel wordt ingezet, vervalt het gebruik van Hydra-NL en de BM Gras Buitentalud. In dat geval wordt ófwel het model van Deltares (schil om HydraRing), ófwel het model van HKV (Pythonversie Hydra-NL) toegepast

Alternatief rekenmodel graserosie en keuze overgang hard /zacht
In Paragraaf 6.1.8 is beschreven dat er in de aanloop naar otwerploop 1 een analyse wordt uitgevoerd naar de inzetbaarheid van een geavanceerd probabilistisch cumulatief overbelastingsmodel (HKV en Deltares), waarbij GEKB en GEBU samen worden beschouwd. Toepassen van dat model zou betekenen dat de eis voor GEBU en GEKB gecombineerd lager wordt dan voor GEBU afzonderlijk. De verwachting is echter dat de resultaten van deze analyse niet alternatief-onderscheidend zijn. In dat geval blijft voor ontwerploop 1 de oorspronkelijke faalkansruimteverdeling van kracht en wordt -specifiek voor de klassieke alternatieven- een vaste overgangshoogte van harde bekleding/zachte bekleding aangenomen. Om de laatste kennis en inzichten voortvloeiend uit de huidige deltagootproeven op dit gebied mee te nemen wordt de gekozen overgangshoogte afgestemd met Deltares in ontwerploop 1.

7.3.3 Afschuiven buitentalud (GABU)

In eerdere studies is vastgesteld dat de grasbekleding onvoldoende weerstand heeft tegen erosie bij directe golfklap (GEBU). Als gevolg hiervan staat op voorhand vast dat de grasbekleding buiten de golfklapzone zal komen te liggen. Hieruit volgt dat het faalmechanisme Grasbekleding afschuiven buitentalud (GABU) niet kan optreden. Dit treedt namelijk enkel op wanneer de waterstand ter hoogte van de grasbekleding aanwezig is. Hier zal namelijk ten tijde van een golfdal overdruk kunnen ontstaan wat tot falen kan leiden.

In ontwerploop 2 zal gecontroleerd worden of deze conclusie standhoudt.

7.3.4 Hoogte – Graserosie kruin en binnentalud (GEKB)

Het faalmechanisme Graserosie kruin en binnentalud (GEKB) beschrijft het falen van de waterkering als gevolg van overslag en overloop. Voor normtraject 8-3 zal overslag maatgevend zijn, omdat hoge waterstanden sterk gecorreleerd zijn met grote wind en dus golfbelasting.

Hydraulische belastingen
Hoofdstukken 5 en 6 beschrijven de achtergronden van de hydraulische belastingen. Deze zullen ook worden toegepast voor het bepalen van de ontwerphoogte. Deze wordt bepaald op basis van de doorsnede-eis bij de ondergrens. Hieruit volgt op basis van het OI2014v4 een terugkeertijd van 1/125.000 per jaar (N=3, ω=0.24).

De aanpassingen die zijn doorgevoerd in de database en het gebruik van Hydra-NL 2.8 leidt naar alle waarschijnlijkheid tot zeer beperkte verschillen in optredende waterstanden en golven langs de IJsselmeerdijk.

Sterkte
Voor ontwerploop 1 wordt als uitgangspunt gehanteerd dat er een erosiebestendige kleilaag wordt aangebracht met een dikte van minimaal 0,4 meter. De graszodekwaliteit wordt als ‘gesloten’ verondersteld. Er worden eveneens geen significante NWO’s meegenomen. Dit is onafhankelijk van de zichtjaren. Richting ontwerploop 2 wordt onderzocht wat de invloed op de overstromingskans is van het niet altijd kunnen garanderen (vanuit beheer) van een gesloten grasmat. Het ligt niet in de verwachting dat de resultaten van dit onderzoek alternatief onderscheidend zullen zijn.

Methodiek
In ontwerploop 1 wordt in principe (zie hieronder ‘Alternatief rekenmodel’) gewerkt met een hydraulisch belastingniveau (HBN) bij een overslagdebiet van 10 l/m/s. Dit komt overeen met de voorwaarden gesteld aan de sterkte zoals in voorgaande paragraaf beschreven.

Software
De HBN berekeningen (kruinhoogte) worden bepaald met de nieuwste versie van Hydra-NL (v.2.8.0). Indien voor ontwerploop 1 alsnog het probabilistische cumulatieve overbelastingsmodel wordt ingezet, vervalt het gebruik van Hydra-NL. In dat geval wordt ófwel het model van Deltares (schil om HydraRing), ófwel het model van HKV (Pythonversie Hydra-NL) toegepast.

Alternatief rekenmodel graserosie
In Paragraaf 6.1.8 is beschreven dat er in de aanloop naar ontwerploop 1 een analyse wordt uitgevoerd naar de inzetbaarheid van een geavanceerd probabilistisch cumulatief overbelastingsmodel (HKV en Deltares), waarbij GEKB en GEBU samen worden beschouwd. Toepassen van dat model zou betekenen dat de eis voor GEBU en GEKB gecombineerd lager wordt dan voor GEBU afzonderlijk. De verwachting is echter dat de resultaten van deze analyse de benodigde kruinhoogte niet significant zullen doen veranderen en het alternatieve rekenmodel voor graserosie kruin en binnentalud daarmee ook niet alternatief-onderscheidend is. In dat geval blijft voor ontwerploop 1 de oorspronkelijke faalkansruimteverdeling van kracht en wordt -specifiek voor de klassieke alternatieven- een vaste overgangshoogte van harde bekleding/zachte bekleding aangenomen. Om de laatste kennis en inzichten voortvloeiend uit de huidige deltagootproeven op dit gebied mee te nemen wordt de gekozen overgangshoogte afgestemd met Deltares in ontwerploop 1.

Keuze overslagdebiet
De keuze van het golfoverslagdebiet domineert de hoogte-opgave en daarmee de versterking van de dijk. Op dit moment wordt in het innovatiespoor van dit project gewerkt aan een nieuwe model die aan hand van cumulatieve overbelasting komt tot één faalkans voor GEBU en GEKB samen. Dit model wordt samen met Deltares verder uitgewerkt en zal zoals hiervoor al beschreven in elk geval in ontwerploop 2 “uitwerking kansrijke alternatieven” worden ingezet en mogelijk dus al eerder, in ontwerploop 1. De keuze van het golfoverslagdebiet zal dan niet meer vooraf te hoeven worden gemaakt, maar probabilistisch worden berekend. Zie Paragraaf 6.1.8.

In de eerste ontwerploop (uitwerking mogelijke alternatieven) is het uitgangspunt dus -in principe- een vast golfoverslagdebiet van 10 l/s/m, tenzij de in Paragraaf 6.1.8 beschreven analyse laat zien dat het verstandig is al in ontwerploop 1 voor graserosie met het nieuwe probabilistische model te rekenen.

Aan deze keuze voor 10 l/s/m liggen de volgende redenen ten grondslag:
- Met de keuze van 10 l/s/m kunnen alternatief onderscheidende ontwerpkeuzes worden onderzocht in ontwerploop 1.
- Het toestaan van hoge overslagdebieten wordt onderzocht in ontwerploop 1 als specifiek alternatief. Het toestaan van hoge overslagdebieten leidt niet vanzelfsprekend tot noemenswaardige kostenbesparingen indien versterkingsmaatregelen op het binnentalud nodig blijken. Dit zal worden onderzocht in ontwerploop 1 en geotechnisch conditionerend onderzoek.

7.3.5 Stabiliteit steenzetting (ZST)

Het ontwerp van een nieuwe steenbekleding zal beperkt worden meegenomen in de eerste ontwerploop van de verkenningsfase. Het doel in deze fase is om een zuilhoogte te bepalen en daarmee een kosteninschatting te kunnen afleiden, hiervoor wordt het programma steentoets gebruikt. Hiermee zal het effect van taludhellingen worden onderzocht. Daarnaast wordt in deze fase onderzocht hoe groot het effect van voorland/riffen is op de steenbekledingsopgave.

Voor klassieke mogelijke alternatieven wordt uitgaan van een steenkleding (zetsteen) op het ondertalud (onder de berm) en een zetsteenbekleding tot circa halverwege het boventalud.

7.3.6 Stabiliteit teenbescherming

In de nadere veiligheidsanalyse [2] is aangetoond dat de huidige teenbescherming ruim niet voldoet. RHDHV heeft een model (teen-tool) ontwikkeld om teenbeschermingen te ontwerpen, dit model werkt grotendeels probabilistisch. Deze ontwerpmodule zal waarschijnlijk worden opgenomen in het BOI. Het model zal vanaf ontwerploop 1 worden toegepast in de verkenningsfase van de IJsselmeerdijk

7.4 Kunstwerken (HTKW, BSKW, PKW, STKWP)

Er liggen in de IJsselmeerdijk tussen de Ketelbrug en de Houtribsluizen geen kunstwerken zoals sluizen. De specifieke faalmechanismen zoals HTKW (hoogte kunstwerk), BSKW (betrouwbaarheid sluiten kunstwerk), PKW (piping bij kunstwerk), STKWP (Sterkte en stabiliteit puntconstructies) zijn dan ook binnen dit project niet van toepassing.

7.4.1 Uitgangspunten langsconstructies (STKWI)

Er zijn langs de huidige dijk geen damwanden aanwezig, behalve langs de havendammen bij Parkhaven en Houtribhaven en langs Flevokust.

Figuur 7-3: Huidig aanwezige langsconstructies. Bron: Logboek Langsconstructies (Fiktorie/Kaihatu, 2018)

Langsconstructies (damwanden met name) worden mogelijk wel toegepast in de dijkversterking en zijn vooral kansrijk in het gebied bij Parkhaven/Houtribhaven. In deze fase is rekenen aan de sterkte van langsconstructies nog niet nodig en dus ook niet voorzien omdat de exacte dimensies niet bepalend zijn voor de kansrijkheid van het alternatief. In een volgende fase, worden langsconstructies gedimensioneerd op basis van de vigerende technische leidraden en de diverse publicaties van de Projectoverstijgende Verkenning Macrostabiliteit.

Binnen de HWBP-POVM zijn zes publicaties opgesteld waarin het ontwerp en beheer- en onderhoudsaspecten van een aantal nieuwe technieken en innovaties zijn beschreven. Het gaat om:

- Drainagetechnieken, PPD;
- Grondverbeteringen PPG;
- Vernagelingstechnieken PPV;
- Langsconstructies PPL;
- Eindige-elementenmethode, PPE;
- Actuele sterkte, PPA.

Met name de PPL is hier van toepassing, zie: https://publicwiki.deltares.nl/display/POVM

7.5 Voorland; afschuiven voorland (VLAF), Golfafslag voorland (VLGA) Zettingsvloeiing voorland (VLZV)

De WBI2017 rekenmethoden voor de faalmechanismen VLGA (Voorland, Golfafslag), VLAF (Voorland, Afschuiven) en VLZV (Voorland, Zettingsvloeiing) zijn van toepassing op een dijk naast een verdieping/ geul. Langs de IJsselmeerdijk is geen verdieping of geul aanwezig. De teen van de dijk gaat over in de horizontale IJsselmeerbodem. Aan deze voorlandmechanismen hoeft dan ook niet te worden gerekend.

De bestaande voorlanden, ter plaatse van Flevokust en het strand bij Flevo Marina) worden in deze fase standzeker verondersteld. Het voorland bij Flevokust is volledig door een damwand omsloten. Ook de voorland-alternatieven, een hoog voorland van zand tegen de dijk onder 1:10 of 1:30, worden standzeker verondersteld.

In een volgende fase, wanneer zandige voorlanden zijn overgebleven als kansrijk alternatief, wordt bepaald wat de onderhoudsbehoefte is (met name onderhouds- en herstelsuppleties) om tot 2080 de benodigde functie van golfremmer te blijven vervullen. De toe te passen rekenmethode is nu nog niet bekend, maar zal naar alle waarschijnlijkheid overeen komen met de methodes zoals toegepast bij de Markermeerdijken van HHNK (Oeverdijk), langs de Houtribdijk [30] (RWS) en bij de Prins Hendrikzanddijk op Texel (ook HHNK). Bij deze projecten is een (duin)afslagmodel toegepast.

7.6 Niet-waterkerende objecten (NWO)

Waterkerende objecten spelen geen rol in de keuze voor alternatieven, maar moeten bij het gekozen alternatief worden ingepast. Zodra deze inpassing aan de orde is, moet de bijdrage van het NWO aan de overstromingskans verwaarloosbaar klein zijn. Om dit te verifiëren zijn diverse instrumenten beschikbaar, waaronder de eenvoudige en meer gedetailleerde rekenregels uit Hoofdstuk 25 van Bijlage III van het WBI2017 en de factsheet beoordelen NWO's (DGWB, 2020) [31].

Specifiek t.a.v. de grote kruisende kabels en leidingen van de Maximacentrale geldt dat deze bepalend zijn voor de dijkversterking ter plaatse (maatwerk).

7.7 Havendammen

De huidig aanwezige havendammen bij Parkhaven en Houtribhaven zijn in de nadere veiligheidsanalyse en bij het bepalen van de voorlopige ontwerpopgave 2080 als standzeker beoordeeld [8]. In deze fase van de verkenning blijft dit het uitgangspunt. De belastingen op de IJsselmeerdijk worden achter deze dammen dus ook gereduceerd onder ontwerpcondities.

Pas wanneer het verhogen/versterken van de bestaande havendammen tot de kansrijke alternatieven behoort, is het dimensioneren van de havendam-versterking aan de orde.

In Paragraaf 6.1.7 is beschreven in deze fase, tot aan zeef 1, gerekend wordt met de reducerende werking van havendammen, loodrecht dan wel parallel aan de IJsselmeerdijk.

Voorafgaand aan ontwerploop 2 wordt gecontroleerd of de uitgangspunten met betrekking tot de standzekerheid kunnen blijven staan.

8 Duurzaamheid

In het collegeplan 2019-2023 [32] is de ambitie uitgesproken dat “bij renovaties en investeringen [er] wordt gekozen voor maximale duurzaamheid”. Voor dit project zijn duurzaamheidsambities geformuleerd die in deze fase fungeren als uitgangspunten voor het ontwikkelen (en beoordelen) van alternatieven. De ambities focussen zich op drie thema’s: circulariteit, milieu-impact en biodiversiteit.

8.1 Circulariteit

Circulariteit in dit project focust zich op een drietal aspecten: 1. het reduceren van het gebruik van primaire grondstoffen, 2. het hergebruik van materialen uit de bestaande dijk (in de versterkte dijk of elders) en 3. het mogelijk maken van hergebruik in de toekomst. Deze aspecten zijn voor deze dijkversterking in deze fase vertaald naar de volgende ambities:

- Het gebruik van primaire grondstoffen is 50% minder dan ten op zicht van een reguliere dijkversterking i.c. het ‘Referentieontwerp’ door andere secundaire bouwstoffen toe te passen:
- 90% van de materialen uit de bestaande dijk worden hergebruikt. Dit kan bij de versterkte dijk, bij andere projecten van het waterschap en derden;
- Dat 100% van de materialen van de nieuwe dijk in de toekomst kan worden hergebruikt.

Dit betekent dat we in de verkenningsfase bij iedere afweging en keuze voor het ontwerp bepalen of:

1. Het gebruik van materialen en grondstoffen kan worden vermeden/verminderd;
2. Materialen en grondstoffen uit de oorspronkelijke dijk kunnen worden gebruikt/gebruik van materialen en grondstoffen uit de oorspronkelijk dijk heeft voorkeur boven ander materialen en grondstoffen;
3. De materialen en grondstoffen die worden gebruikt in de toekomst herbruikbaar zijn/we gebruiken alleen maar materialen die herbruikbaar zijn.

Bij het ontwerpproces hanteren we het principe dat we ervan uitgaan dat de dijk wordt versterkt met de beschikbare materialen uit de huidige dijk, of projecten uit de omgeving. Een mooi voorbeeld hiervan vinden we in de Project overstijgende verkenning Gebiedseigengrond. De visie van de POV DGG: “Grondgestuurd (geotechnisch) ontwerpen, bouwen met wat er ligt”. De uitdaging hierbij is het ontwerpen zo te maken dat met de grondeigenschappen van de beschikbare grond een dijk wordt gemaakt die voldoet aan de norm, in plaats van na het ontwerpen grond te zoeken die voldoet aan de benodigde eisen.

8.2 Milieu-impact

De milieu-impact, waar de CO_2-uitstoot een onderdeel van is, maakt inzichtelijk wat de effecten van onze activiteiten zijn op de aarde. Het doel is om de milieu-impact zo laag mogelijk te houden. De ambities zijn opgesplitst in twee delen:

- Voor de dijk moet het totale milieueffect zo laag mogelijk worden houden. Het streven is om de MKI-waarde met 50% te reduceren t.o.v. de MKI-waarde van het referentieontwerp;
- De ambitie is om het project 100% klimaatneutraal uit te voeren. Dit betekent dat wordt ingezet op het zoveel mogelijk besparen van energie bij de uitvoering om de uitstoot van CO_2, stikstof en fijnstof zoveel mogelijk te voorkomen. En om daarnaast het opwekken van duurzame energie mogelijk te maken om daarmee de uitgestoten CO_2 te compenseren.
- Het steven is om de milieu-impact door beheer niet te laten stijgen ten opzichte van de huidige beheersituatie.

Dit betekent dat we in de verkenningsfase bij iedere afweging en keuze voor het ontwerp bepalen:

- Wat het milieueffect is en de bijbehorende uitstoot van CO_2, stikstof en fijnstof. Hierbij onderzoeken we wat de mogelijkheden zijn om het milieueffect en uitstoot te reduceren.
- De materialen en grondstoffen die worden gebruikt met zo min mogelijke milieueffecten kunnen worden aangevoerd/we gebruiken bij voorkeur materialen en grondstoffen uit de regio (provincie en IJsselmeer);
- Wat dit betekent voor de realisatie in termen van verplaatsen van grond. De voorkeur gaat uit naar minimaliseren van het grondverzet door een “slim” ontwerp dat “slim” uitgevoerd kan worden;
- Het mogelijk kan worden gemaakt dat de dijkversterking zoveel mogelijk wordt uitgevoerd met ‘emissieloos materieel’.

8.3 Biodiversiteit

Qua biodiversiteit ligt de focus op het vergroten van de biodiversiteit van de bekledingen van de versterkte dijk ten opzichte van de huidige situatie. Daarnaast is de ambitie om de dijk in grotere mate onderdeel te maken van het grotere ecologisch systeem van het IJsselmeer en de omringende natuur. Hierbij dient bij het ontwerp van ecologische maatregelen steeds de impact op de beheerinspanning en eventuele belemmeringen vanuit de natuurwetgeving op beheer te worden meegewogen.

Dit betekent dat in de verkenningsfase:

- In de afweging van alternatieven biodiversiteit wordt meegenomen als afwegingscriteria, met als doel om de dijk onderdeel te maken van het grotere ecologische systeem van het IJsselmeer en omringende natuur;
- Voor de kansrijke alternatieven en het voorkeursalternatief een overzicht wordt gemaakt van concrete kansen om de potentie van biodiversiteit te vergroten binnen de gekozen oplossingsrichting. Dit houdt in dat in de ontwerploops de kansen voor biodiversiteit van de kansrijke alternatieven en voorkeuralternatief in beeld worden gebracht.

In ontwerploop 1 wordt 1). gewerkt aan een concreet voorstel hoe de kansen voor biodiversiteit die naar voren zijn gekomen in de natuurinventarisatie (zie Paragraaf 9.3) een plaats krijgen in de mogelijke alternatieven, 2). in beeld gebracht hoe de negatieve effecten van een dijkversterking die in deze natuurinventarisatie zijn aangestipt geminimaliseerd kunnen worden en 3). een ontwerpsessie gehouden met externe specialisten specifiek gericht op biodiversiteit.

9 Eisen en wensen vanuit omgeving en conditionering

9.1 Beheer en onderhoud

Waterschap Zuiderzeeland versterkt de komende jaren een deel van zijn primaire waterkeringen. Het waterschap heeft in December 2020 een leidraad opgesteld aan welke uitgangspunten een ontwerp van een primaire waterkering moet voldoen; de Standaard Ontwerp Richtlijnen (SOR)[12] [7]. Deze richtlijn beoogt uniformiteit tussen projecten en bevat een groot aantal eisen/wensen die voortkomen uit de wens om een goed beheerbare dijk te realiseren. Prominente wensen/eisen op het gebied van beheer en onderhoud waar rekening mee gehouden dient te worden in de verkenningsfase zijn in deze paragraaf opgenomen. De overige eisen uit de SOR worden niet specifiek benoemd in deze notitie, maar zijn niet conflicterend met uitgangspunten die in de overige hoofdstukken van deze uitgangspuntennotitie zijn opgenomen.

A. Het ontwerp van de kering moet beheerbaar, inspecteerbaar en in de toekomst versterkbaar en ` beoordeelbaar zijn (richtlijn 11 uit de SOR);

B. Toekomstige versterkingen blijven uitvoerbaar. Hiervoor wordt voldoende ruimte gereserveerd. Uitgangspunt is een strook van 20 meter naast de kernzone, zowel binnen- als buitendijks (binnenbeschermingszone) (aanvulling richtlijn 11 uit de SOR);

C. De waterkering dient zowel tijdens als na realisatie bereikbaar te zijn voor calamiteitenverkeer en inspectie tijdens een storm. Het gaat om hulpdiensten, inspectievoertuigen of een kraan om zand of steen op de dijk aan te brengen (richtlijn 12 uit de SOR);

D. De aanpassing van de waterkering leidt niet tot (significant hogere) meerkosten voor het waterschap (qua aanleg, beheer, toetsing, onderhoud en toekomstige dijkversterkingen). Bij het ontwerp wordt een afweging gemaakt in het kader van LCC (richtlijn 15 uit de SOR);

E. Taludhellingen mogen niet steiler zijn dan 1:3,0 i.v.m. onderhoudbaarheid, inspecteerbaarheid en arbo-eisen voot maaionderhoud op de onverharde taluds. Op deze taluds of flauwer kan maaiapparatuur rijden, is beter een grasmat te ontwikkelen en is minder kans op uitspoeling bij kale plekken (richtlijn 24 uit de SOR);

F De kleibekleding dient minimaal 0,8m te bedragen i.v.m. dierlijke graverij. Dit is inclusief de leeflaag van klei (dit geldt ook voor de kruin en het benedenbeloop). Dit is ongeacht wat uit de berekeningen volgt, behalve als deze meer bedraagt dan de voorgeschreven 0,8 m. (richtlijn 26 uit de SOR);

G. Voor de ontwikkeling van een gesloten grasmat dient het binnentalud, benedenbeloop, buitentalud en kruin, bovenop de erosiebestendige kleilaag, voorzien te zijn van een toplaag of leeflaag van schrale klei (met een vloeigrens lager dan 40%). (richtlijn 31 uit de SOR);

Er ontwikkelt zich een meer kruidenrijke grasmat. Deze hoeft minder vaak gemaaid te worden (2 maaibeurten i.p.v. 3) en er is minder kans op ongewenste kruiden. Het is lastig om op een kleilaag cat. 1 een gesloten en goed doorgewortelde grasmat te kweken. Bij droogte zal de dijk minder snel en diep droogtescheuren gaan vertonen.

[12] *De SOR wordt naar verwachting op 2 maart 2021 door het dagelijks bestuur (DenH) van het waterschap vastgesteld en wordt vervolgens gepubliceerd. Hiermee is het formeel beleid. Maatwerk waarbij afgeweken wordt van de SOR is in overleg met het waterschap mogelijk in bijzondere gevallen. Voorwaarde is dat dit leidt tot een betere, of efficiëntere, of duurzamere of innovatievere oplossing.*

H. Alle belopen en taluds van de dijk en kwelsloot dienen bereikbaar te zijn voor regulier onderhoudsverkeer (zie eis 7) (geldt voor buitentalud, binnentalud, benedenbeloop en kwelsloot). (richtlijn 32 uit de SOR)

G. Bij de overgang van een harde naar een zachte dijkbekleding (b.v. van een steenbekleding naar een grasbekleding) dient een overgangsconstructie (van b.v. grasbetonstenen) aangebracht te worden conform de Handreiking Dijkbekledingen 2015 deel 1 t/m 5 en de Technische richtlijn Steenzettingen. Tussen de dijkbekleding en een kunstwerk of NWO dient eveneens een overgangsconstructie aangebracht te worden. Deze bepaling geldt binnen de gehele kernzone.

Toelichting: Het doel van de overgangsconstructie is het voorkomen van erosie. Wanneer er geen overgangsconstructie aanwezig is, kan de bekleding open gaan staan/wijken. Het waterschap heeft de ervaring dat de overgang van een (asfalt)pad naar gras beter niet middels een betonband uitgevoerd kan worden. Na jaren ontstaat er een naad tussen het asfalt en de band. Deze naad kan aanleiding zijn tot uitspoelen van materiaal uit de ondergrond of gevaar opleveren voor fietsers die met hun banden in de naad rijden.

(richtlijn 35 uit de SOR);

H. De bekleding van het buitentalud betreft een gras- of steenbekleding. De beheerder acht asfaltbekleding ongewenst wegens vormgeving en beheerbaarheid. Dit betreft de delen belast op golfklap en golfoploop. (richtlijn 39 uit de SOR)

I. Overlaging van steenzetting met stortsteen is niet toegestaan.

Toelichting: Overlaging met stortsteen is goedkoop in aanleg, niet in beheer. Na verloop van tijd ontstaan in stortsteenbekleding struiken/bomen die minimaal eens per drie jaar handmatig moeten worden verwijderd. Dit gebeurt met kniptangen en motorkettingzagen. Dit is gevaarlijk werk, omdat de steenbestortingen lastig te bereiken zijn. Uit oogpunt van veiligheid en ARBO zijn dergelijke werkzaamheden daarom niet gewenst. Een ander nadeel is dat dergelijke glooiingen erg ongelijkmatig van vorm zijn en dus moeilijk zijn te monitoren en inspecteren. Kleine verzakkingen zijn niet waarneembaar tijdens inspectie. (richtlijn 40 uit de SOR).

J. Regen- en of overslagwater dient onder natuurlijk talud af te stromen naar de kwelsloot of het buitenwater, zodat nergens water blijft hangen. (richtlijn 37 uit de SOR);

De buitenberm dient minimaal 3 meter breed te zijn om ruimte te bieden aan het plegen van onderhoud en inspectie aan de dijk, tenzij een voorland voorziet in ruimte voor het plegen van onderhoud en inspectie. De voorkeur gaat uit naar een bermbreedte van 5,00 meter. (richtlijnen 43, 44, 46 uit de SOR).

K. Het fietspad/onderhoudspad op de buitenberm van de dijk dient opgebouwd te zijn uit waterbouwasfaltbeton of een betonpad van voldoende dikte. De Buitenberm dient een afschot te hebben tussen 2% en 3% richting het buitenwater in verband met de afvoer van regenwater. (richtlijnen 47, 49 uit de SOR);

L. Bij het verhogen of verbreden van de dijk dient onderzocht te worden of de aanwezige klei- en keileemlagen van de “oude” dijk onder de aan te brengen ophoging van het ontwerp aanwezig kunnen blijven of dat deze lagen verwijderd moeten worden zodat het zand van de verhoging aansluit op het zand van het oude dijklichaam. Het streven is om het vergraven van keileem zoveel mogelijk te vermijden. (richtlijnen 56, 57 uit de SOR);

M. De minimale kruinbreedte bedraagt 3,00 meter (conform de Leidraad Zee- en meerdijken en de Handreiking constructief ontwerpen). Als de huidige kruin breder is dan 3 meter, dan wil het waterschap deze breedte behouden (richtlijn 80 uit de SOR).

N. De steenbekleding dient te worden opgesloten m.b.v. een teenschot van voldoende sterkte / afmeting. Beton heeft de voorkeur, maar hardhout en staal zijn ook toegestaan. Het waterschap wil dat er binnen een project een eenduidige keuze wordt gemaakt. Het teenschot mag tijdens en na plaatsing niet vervormen en moet voldoende weerstand bieden tegen de druk van de steenzetting (richtlijn 59 uit de SOR).

O. Tegen het teenschot dient een teenbestorting te worden aangebracht. Deze constructie dient steun te bieden aan de bovenliggende steenzetting en wordt op basis van de vigerende regels ontworpen (richtlijn 60 uit de SOR).

P. Een nieuw aan te brengen teenschot dient aan de dijkzijde zo kort mogelijk achter het bestaande teenschot geplaatst te worden. Op deze manier wordt het buitentalud met de erosiebestendige keileemkist in de ondergrond zo weinig mogelijk aangetast. De ruimte tussen het oude en nieuwe teenschot dient opgevuld te worden met grind 20-40 mm en vol en zat ingegoten te worden met gietasfalt om een stevige teenconstructie te verkrijgen (richtlijn 61 uit de SOR).

Q In het benedenbeloop dient een drainagesysteem aanwezig te zijn dat onder maatgevende omstandigheden voldoende capaciteit heeft om kwelwater af te voeren, zodat de stabiliteit van de dijk en het benedenbeloop gewaarborgd is. Ook wanneer niet uit het OI volgt dat drainage aangelegd moet worden, schrijft het waterschap drainage voor, om te borgen dat het benedenbeloop voldoende daadkrachtig is voor onderhoudsverkeer (richtlijn 66 uit de SOR).

9.2 Ruimtelijke kwaliteit

Voor het project Versterking IJsselmeerdijk is een Ruimtelijk Kwaliteitskader (RKK) opgesteld door Bosch-Slabbers (December, 2020) [4]. Dit RKK is een instrument om te sturen en te inspireren op ruimtelijke kwaliteit en vormt een kader voor de landschappelijke inpassing van de dijkversterkingsmaatregelen. Het RKK analyseert en waardeert de ruimtelijke kwaliteit van de dijk en doet uitspraken over de wijze waarop in het planproces van de dijkversterking hiermee kan worden omgegaan. Het RKK is geen blauwdruk of ontwerp. Het vormt een kader, naast andere wettelijke of kaderstellende documenten op het gebied van techniek, natuur, etc.

In het RKK is vanuit de kernkwaliteiten en knelpunten van de huidige waterkering een ruimtelijke visie opgesteld voor het toekomstbeeld. Op basis hiervan zijn ontwerpprincipes afgeleid die concrete handvatten biedt voor een goede ruimtelijke inpassing van de dijk. Deze ontwerpprincipes vormen belangrijke input voor het technisch ontwerp, waar zoveel mogelijk rekening mee gehouden wordt. Het zou echter best kunnen dat conflicten met andere eisen en wensen optreden tijdens het ontwerpproces en dat niet overal de ontwerpprincipes volledig gehandhaafd kunnen worden. Belangrijke beslissingen worden met het afweegkader afgewogen in het ontwerpproces. De ontwerpprincipes uit het RKK zijn hieronder in Figuur 9-1 benoemd.

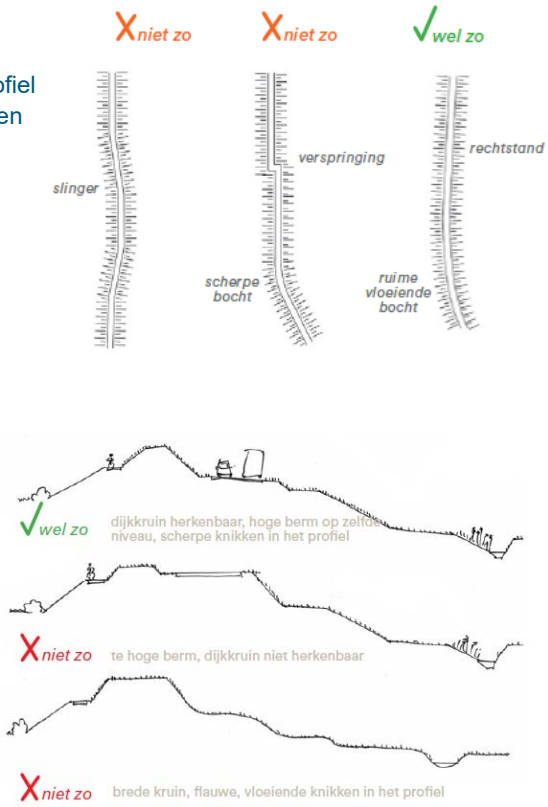
Bij het ontwerp van de mogelijke en kansrijke alternatieven en keuze richting het VKB wordt getoetst aan de ontwerpprincipes van het RKK, met name ook om invulling te geven aan een van hoofddoelstellingen voor het project, namelijk het behoud van de ruimtelijke kwaliteit.

1. DE DIJK ALS CONTINUE LIJN
1.1 Één samenhangende dijk, met een onderscheid in twee deeltracé's
1.2 Het huidige tracé als basis
1.3 Basisprofiel: de dijk heeft een robuust, eenduidig en herkenbaar dwarsprofiel
1.4 Uitzondering in profiel: groene dijktop altijd helder zichtbaar laten doorlopen
1.5 Bekleding sluit in materiaal, kleur en formaat aan bij continue, stoere, robuuste uitstraling van de dijk
1.6 Weg-, erf- en beheerafritten zijn ondergeschikt aan de dijk
1.7 Ingetogen dijk- en weginrichting

2. DE DIJK ALS SCHERPE GRENS EN ZACHTE VERBINDER
2.1 Scherpe begrenzing van de dijktenen
2.2 Heldere overgang binnendijks
2.3 Ontwikkeling van vooroevers

3. DE MULTIFUNCTIONELE DIJK
3.1 De energiedijk
3.2 De bedrijvige dijk
3.3 De bewoonde dijk
3.4 De ecologische dijk
3.5 De recreatieve dijk

4. DE BELEEFBARE DIJK
4.1 Oppoetsen bestaande rustplekken en interessante punten
4.2 Toevoegen nieuwe rustplekken in interessante punten
4.3 Versterken beleving vanaf de dijk
4.4 Versterken beleving van de dijk vanuit de omgeving
4.5 Versterken dikbeleving vanaf de A6



Figuur 9-1: Overzicht en voorbeelden van de zoekrichting voor ruimtelijke uitwerkingen uit het Ruimtelijk Kwaliteitskader [4]

9.3 Natuur

In de verkenningsfase is een eerste natuurinventarisatie uitgevoerd in de vorm van een bureauonderzoek en een oriënterende veldinventarisatie (RHDHV, februari 2021) [33]. Hieruit volgt dat de dijkversterking zowel binnendijks als buitendijks negatieve effecten kan hebben op beschermde, kwetsbare en algemeen voorkomende soorten. Alle potentiële effecten zijn samengevat in de onderstaande tabel. Aangezien er meerdere beschermde diersoorten aanwezig zijn in het plangebied is overtreding van verbodsbepalingen van de Wnb niet op voorhand uit te sluiten. Om overtredingen van verbodsbepalingen te voorkomen wordt aangeraden om ofwel de voorgestelde mitigerende maatregelen op te volgen (o.a. volgend uit de zorgplicht) en nader onderzoek uit te voeren (o.a. inventariseren vleermuizen, grondgebonden zoogdieren, broedvogels, oevers en watergangen).

Tabel 9-1: Samenvatting natuurinventarisatie

Soortgroep	Mogelijk voorkomende soorten	Mogelijk effect dijkversterking	Overtreding Wnb
Vaatplanten	blauw waltstro, geelhartje, rode ogentroost, bevertjes, gewone agrimonie en knopig doornzaad.	Vernietiging groeilocatie	-
Mossen en Korstmossen	IJsselmeerkorst, veldjesschotelkorst, granietblauwkorst, zwarte granietkorst, bolletjes-geleimos, melkwitte granietkorst, wrattig dambordje en smaragdmos	Vernietiging groeilocatie	-

Soortgroep	Mogelijk voorkomende soorten	Mogelijk effect dijkversterking	Overtreding Wnb
Grondgebonden zoogdieren	Bever en otter	het vernietigen van vaste rust- en verblijfplaatsen en het verstoren van individuen	3.5 lid 2 en 4
	boommarter, steenmarter en das	het vernietigen van vast rust- en verblijfplaatsen	Art. 3.10, lid 1b
	algemeen voorkomende (beschermde) soorten als: bosmuis, egel, haas, konijn, veldmuis, ree en vos	het vernietigen van vaste rust- en verblijfplaatsen en het verstoren van individuen	-
Vleermuizen	Ruige dwergvleermuis, gewone dwergvleermuis, kleine dwergvleermuis, laatvlieger, meervleermuis en rosse vleermuis	het verstoren van foeragerende of langs vliegende vleermuizen in de omgeving van het plangebied	art. 3.5, lid 2
Broedvogels met jaarrond beschermde nesten	Buizerd, sperwer, slechtvalk	Roeken nesten zijn aanwezig in de bomenrij ten westen van het bosperceel. In het midwesten van het bosperceel is een potentieel uit te bouwen nest voor ransuil of sperwer.	Artikel 3.1
Algemene broedvogels (geen jaarrond beschermde nesten)	algemeen voorkomende soorten als: Aalscholver, zilverreiger, kuifeend, fuut, meerkoet, wilde eend etc.	potentiële nesten locaties in oever en riet in en rondom het plangebied. Daarnaast vormt het plangebied rust en foerageergebied voor deze soorten.	Artikel. 3.1
Amfibieën	Alpenwatersalamander	het doden van individuen	Artikel 3.10
	algemeen voorkomende (beschermde) soorten als: meerkikker, bastaardkikker, bruine kikker, gewone pad, kleine watersalamander	het vernietigen van vaste rust- en verblijfplaatsen en het verstoren of doden van individuen	
Reptielen	-		
Vissen	Rivierdonderpad (buitendijks)	het vernietigen van vaste rust- en verblijfplaatsen en het verstoren of doden van individuen	-
	algemeen voorkomende soorten (binnendijks) als: baars, blankvoorn, brasem, driedoornige stekelbaar, europese aal, karper, kleine modderkruiper, rivierdonderpad, snoek en zonnebaars. algemeen voorkomende soorten (buitendijks) als: spiering, snoekbaars, pos, brasem, blankvoorn en baars		-
Ongewervelden	gevlekte witsnuitlibel en grote vos	Tijdelijke vernietiging ecologische verbinding met omliggende leefgebieden als Kamperhoek.	-
	bruin blauwtje, gele luzernevlinder		-
	algemeen voorkomende soorten als: atalanta, distelvlinder, kleine vos, klein geaderd witje, klein koolwitje en platbuik		-

Naast mogelijke negatieve effecten van de dijkversterking op de natuur biedt het project ook kansen voor vergroting van de biodiversiteit. Daarbij kan onder meer worden gedacht aan:

- Inzaaien van het dijklichaam met als doel een soortenrijke dijkvegetatie te ontwikkelen. Daarmee ontstaat ook een geschikt leefgebied voor onder meer insecten en vogels.
- Aanleggen van broeihopen voor ringslangen. Het plangebied is geschikt te maken als leefgebied voor de ringslang. Door broeihopen te realiseren wordt de verspreiding van de ringslang gestimuleerd.
- Aanleggen van natuurvriendelijke oevers langs de kwelsloot. De natuurwaarde van de kwelsloot kan verbeteren door een meer geleidelijke landwaterovergang te creëren. Daarmee wordt de ontwikkeling van oevervegetatie gestimuleerd en kan een broed- en leefgebied ontstaan voor bijvoorbeeld rietvogels.
- Aanleggen van vooroevers in het IJsselmeer. In het IJsselmeer is een groot aantal vissoorten aanwezig. Toch ontbreekt het in het hele IJsselmeer aan geleidelijke landwaterovergangen. Door het aanleggen van vooroevers kunnen die geleidelijke landwaterovergangen worden gerealiseerd en ontstaat paai- en leefgebied voor diverse vissoorten. Ook oeverplanten, waterplanten, macrofauna en vogels profiteren van de kansen die vooroevers bieden.
- Indien dat planmatig en procesmatig mogelijk is kan de dijkversterking van de IJsselmeerdijk worden gecombineerd met KRW-maatregelen die tot doel hebben de toestand van het Ketelmeer te versterken.

In ontwerploop 1 wordt 1). gewerkt aan concreet voorstel hoe de kansen voor biodiversiteit die naar voren zijn gekomen in de natuurinventarisatie een plaats krijgen in de mogelijke alternatieven, (2). in beeld gebracht hoe de negatieve effecten van een dijkversterking die in deze natuurinventarisatie zijn aangestipt geminimaliseerd kunnen worden en 3). een ontwerpsessie gehouden met externe specialisten specifiek gericht op biodiversiteit.

9.4 Cultuurhistorie en archeologie

Cultuurhistorie

Voor het project is een historisch vooronderzoek opgesteld [34]. Hieruit volgt dat binnen het plangebied zich geen cultuurhistorische waarden bevinden in de vorm van Rijksmonumenten of gemeentelijke monumenten. Binnen de contouren van het plangebied bevinden zich wel drie cultuurhistorisch waardevolle elementen; het dijklichaam zelf (tevens aangegeven op de provinciale cultuurhistorische waardenkaart), het kunstwerk Hevelhuisje en de sluitsteen Lelystad – IJsselmeerdijk. Uitgangspunt is dat het kunstwerk en de sluitsteen terug komen in het nieuwe ontwerp, zodanig dat dit herkenbaar blijft in het landschap. In feite geldt het zelfde voor het dijklichaam, al zullen de geplande ingrepen geen wezenlijke veranderingen aanbrengen aan het karakter en uiterlijk van de dijk, en zullen deze alleen maar de cultuurhistorische waarde van de dijk behouden en versterken.

Daarnaast zijn op de cultuurhistorische waardenkaart van de provincie Flevoland binnen het plangebied nog twee vlakken aangegeven die van belang zijn voor de archeologie: die van het Provinciaal Archeologische en Aardkundige Kerngebied (PArK) Rivierduingebied Swifterbant), en het archeologisch aandachtsgebied ‘Markermeer’. Voor beiden geldt dat het streven is om eventuele archeologische waarden zoveel mogelijk te beschermen. Dit geldt ook voor het op de provinciale cultuurhistorische waardenkaart aangegeven Aardkundig waardevol gebied; ook hier gaat het de sporen van het fossiele landschap met rivierduinen en oeverwallen waar zich mogelijk sporen van de Swifterbant cultuur kunnen bevinden. De provincie streeft er naar deze waarden zoveel mogelijk te beschermen, en daarnaast aandacht te vragen voor aardkundige waarden bij ruimtelijke ontwikkelingen (via het traject van bodeminformatie/verwerken in recreatieve routes etc). Bij ontgrondingen groter dan 500 m en dieper dan 30 cm -mv wordt in het kader van de Ontgrondingenvergunning in overleg getreden met de provincie.

Archeologie
De bodem onder het dijklichaam is bij de aanleg weggebaggerd en vervangen door een zandcunet, en heeft geen archeologische verwachting meer. Binnen de strook naast het dijklichaam kan binnen het gehele plangebied sporen van bewoning en gebiedsexploitatie voorkomen uit het Paleolithicum en het Mesolithicum. Eventuele archeologische resten bevinden zich op een aanzienlijke diepte, en zullen naar verwachting niet worden bedreigd door zetting, dan wel graaf- of andere bodemroerende werkzaamheden.

Binnen het plangebied bevinden zich daarnaast zones met een middelhoge of hoge verwachting op het aantreffen van archeologische resten uit de midden fase van de Swifterbantcultuur (circa 5200-3800 v. Chr.). Het gaat dan om de trajecten:

- Dp 26.6 – 26.1 (ca. 500 m);
- Dp 25.2 – 25.0 (ca. 200 m);
- Dp 24.8 – 22.5 (ca. 2300 m);
- Dp 21.2 - 21.1 (ca. 100 m);
- Dp 17.8 – 17.6 (ca. 200 m).

Vestigia adviseert om bij bodemroerende ingrepen binnen deze bovengenoemde zones van dieper dan 50 cm beneden maaiveld, en groter dan 100 m^2, of bij ophogingen van meer dan 2 m boven huidig maaiveld en groter dan 100 m^2 een vervolgonderzoek uit te voeren in de vorm van een inventariserend veldonderzoek door middel van verkennende boringen, eventueel aangevuld met een karterend booronderzoek indien de resultaten van het verkennende onderzoek daartoe aanleiding geven. Aanvullend onderzoek wordt overwogen na vaststelling van de kansrijke alternatieven in ontwerploop 2.

9.5 NGE

RPS heeft een vooronderzoek CE uitgevoerd ter plaatse van de IJsselmeerdijk, van de Ketelbrug tot en met de Houtribsluis (RPS, 28 oktober 2020) [35]. In dit onderzoek zijn een aantal oorlogsgebeurtenissen geïdentificeerd die in de omgeving van het onderzoeksgebied hebben plaatsgevonden. Na analyse is van deze gebeurtenissen vastgesteld dat deze niet van invloed zijn geweest op het onderzoeksgebied. Derhalve is het gehele onderzoeksgebied onverdacht op de aanwezigheid van CE. De uitspraak ‘verdacht’ of ‘onverdacht’ is een waarschijnlijkheidsuitspraak gebaseerd op uitgebreid bronnenonderzoek, analysemethoden en inschattingen op basis van ervaring. Of er daadwerkelijk CE in de bodem aanwezig is, kan alleen vastgesteld worden door middel van detectie- en opsporingsonderzoek. In onverdacht gebied kunnen werkzaamheden plaatsvinden zonder verdere maatregelen. In ontwerploop 1 wordt aangenomen dat er geen NGE aanwezig zijn in het projectgebied.

9.6 Bodem en grondwater

Om de mogelijkheden/condities voor het hergebruiken en toepassen van grond inzichtelijk te maken in een conditionerend vooronderzoek bodem uitgevoerd (RHDHV, februari 2021) [36]. Uit het conditionerend onderzoek blijkt het volgende:

- Het uitvoeren van de grondwerkzaamheden mag onder de regelgeving van het Besluit bodemkwaliteit inclusief de tijdelijke uitname. Grond van elders die wordt toegepast dient te voldoen aan de eisen uit de bodemkwaliteitskaarten en nota bodembeheer. Dit beleid is geactualiseerd en geschikt voor het toepassen van PFAS houdende grond en baggerspecie;
- Ter plaatse van het onderzoeksgebied is geen geval van ernstige bodemverontreiniging bekend en zijn geen indicaties voor de aanwezigheid van interventiewaarde overschrijdingen;
- Op de IJsselmeerdijk is op de steenbekleding en in de wegen en fietspaden asfalt toegepast. In onderzoek is naar voren gekomen dat het asfalt deels teerhoudend;

- Wanneer het stortsteen, de basaltblokken in de steenbekleding de vleilaag en het funderingsmateriaal uit de verhardingsconstructies van de wegen en fietspaden zintuiglijk niet verontreinigd zijn, mogen deze, indien deze zonder te zijn bewerkt, op of nabij dezelfde plaats en onder dezelfde condities opnieuw in het dat werk worden aangebracht.

Uit bovenstaande blijken voor de verkenningsfase geen grote eisen te komen voor het ontwerp van de alternatieven. Gevolgen vanuit de bodemkwaliteit hebben met name een impact op de materialisatie en hergebruik van materiaal wat met name in de planuitwerkingsfase nader gedetailleerd moet worden.

9.7 Kabels en leidingen

In de “Quickscan beïnvloeding kabels en leidingen” (RHDHV, februari 2021) zijn de randvoorwaarden en uitgangspunten voor omgang met kabels en leidingen benoemd. Onderstaande tabellen zijn hierin opgenomen en gelden als uitgangspunt voor kabels en leidingen. Naar verwachting zal verlegging van K&L nodig zijn, voor de aanpak van dit proces wordt een apart plan van aanpak opgesteld in de verkenningsfase.

Bij de beoordeling van kabels en leidingen wordt onderscheid gemaakt in het aspect “fysiek raken” en het aspect “waterveiligheid”. Afkeuring op het aspect “fysiek raken” (zie wil zeggen dat K&L moeten worden verlegd als gevolg van de dijkversterking, ongeacht de staat van de leiding. Ook randvoorwaarden van beheer en onderhoud vallen hieronder (zie Tabel 9-2). Afkeuring op het aspect “waterveiligheid” wil zeggen dat de leiding op zichzelf ook een risico vormt voor de waterveiligheid bij het falen van de leiding, waarbij een erosiekrater kan ontstaan in het dijklichaam (zie Tabel 9-3). Beide aspecten kunnen aanleiding zijn tot aanpassing of verlegging van kabels en leidingen.

Tabel 9-2: Randvoorwaarden en uitgangpunten Kabels en Leidingen ten aanzien van aspect “Fysiek raken”

Randvoorwaarden en uitgangspunten, fysiek raken	
1	Door het vergraven van het bestaande maaiveld worden K&L fysiek geraakt: - Door het aanbrengen van de kleibekleding. - Door het aanbrengen van de harde bekleding (zetsteenbekleding). - Door het aanbrengen van de keermuur / damwand (verticale wand).
2	Voor het aanbrengen van een keermuur is uitgegaan van een benodigde werkruimte van circa 2,0 m aan weerszijde van de keermuur.
3	Indien wordt besloten om een damwand aan te brengen is het uitgangspunt, dat K&L binnen een afstand van circa 1,0 m uit het hart van de damwand moeten worden verlegd. Vanwege de benodigde werkruimte en de mogelijke beïnvloeding door het aanbrengen van deze damwanden. Voor gevoelige K&L leidingen dient deze afstand mogelijk te worden vergroot. Dit is afhankelijk van de leidingeigenschappen.
4	Kabels en leidingen liggen normaliter met een gronddekking van ±60 cm tot ±120 cm. De ingreep vanuit de dijkversterking reikt veelal dieper.
Beheer en onderhoud - beleid	
5	Bij de beoordeling is een uitstervingsbeleid ten aanzien van kabels en leidingen in de waterkering gehanteerd. Dit uitstervingsbeleid omvat de volgende uitgangspunten: - Op het moment dat een kabel of leiding fysiek wordt geraakt door de dijkversterkingsingreep zal deze indien mogelijk worden verlegd naar een locatie buiten de waterkering (bij voorkeur buiten de kernzone). - Voor kabels en leidingen die vanuit hun functie niet verlegd kunnen worden naar een locatie buiten de waterkering (zoals bijvoorbeeld LS kabels voor openbare verlichting) mogen binnen het invloedsgebied van de waterkering blijven liggen. Deze worden aangemerkt als essentiële kabels en leidingen. - Kabels en leidingen die niet fysiek worden geraakt mogen vooralsnog blijven liggen mits de waterveiligheid niet in het geding is. Deze leidingen zijn eerder (al dan niet in afwijking van bestaande

Randvoorwaarden en uitgangspunten, fysiek raken	
	beleidsregels) vergund. Voor het kunnen gedogen van leidingen wordt verwezen naar de hydraulische randvoorwaarden, die voor een levensduur van 50 jaar gelden. Bij toepassing van dit gedoogbeleid is het advies, dat bij werkzaamheden aan deze gedoogde leidingen in de (nabije) toekomst, deze alsnog uit de waterkering verwijderd moeten worden. - Het uitstervingsbeleid prevaleert boven het gedoogbeleid.
6	Binnen het gesloten seizoen mogen geen werkzaamheden aan K&L binnen de keurzone plaatsvinden.
7	Toe- of afname aanwezige gronddekking - Een maximale gronddekking van 1,5 m op K&L in de waterkering wordt aangehouden. K&L die dieper liggen zijn niet acceptabel. - Een gronddekking kleiner dan 60 cm voor kabels en 80 cm voor leidingen is niet acceptabel.
8	Kruisende kabels en leidingen onder de harde bekleding (bijvoorbeeld zetsteen) zijn toegestaan met als randvoorwaarde dat ze feitelijk niet jaarrond toegankelijk zijn voor beheer en onderhoud en in geval van calamiteiten. - Tijdelijk verwijderen van de harde bekleding is tijdens het gesloten seizoen van de waterkering niet toegestaan in verband met de waterveiligheid. - Tijdelijk verwijderen van de harde bekleding is tijdens het open seizoen niet wenselijk. Behalve indien geen andere opties aanwezig zijn.
9	Parallel onder de harde bekleding gelegen K&L zijn niet toelaatbaar
10	Oude kabels en leidingen moeten feitelijk worden verwijderd. - Indien na realisatie van de geplande dijkversterking de functie van een K&L komt te vervallen en deze is gelegen onder de harde bekleding, dienen deze functieloze oude K&L te blijven liggen. De leidingen dienen dan met een dämmer te worden volgezet.
11	Parallel onder een keermuur gelegen K&L zijn niet toelaatbaar.

Tabel 9-3 Randvoorwaarden en uitgangpunten voor K&L ten aanzien van het aspect "Waterveiligheid"

Randvoorwaarden en uitgangspunten, waterveiligheid	
1	K&L moeten voldoen aan de NEN3651, waarbij onder andere: - De leidingen sterktetechnisch moeten voldoen. Dit dient door de netbeheerder te worden aangetoond. (1) - Binnen de binnenbeschermingszone dienen leidingen sterker te zijn dan daarbuiten (relatieve sterkte-eis). Dit dient door de netbeheerder te worden aangetoond. - Waar nodig dient een voorziening met een damwandconstructie (vervangende waterkering) aanwezig te zijn. Bij de beoordeling dient tevens rekening te worden gehouden met het groepseffect.
2	Te verplaatsen K&L moeten bij voorkeur (in rangorde): 1. Buiten de beschermingszone van de waterkering worden gelegd. 2. En anders buiten de binnen beschermingszone van de waterkering worden gelegd. 3. En anders buiten de kernzone worden gelegd.
3	Binnen het leggerprofiel zijn bij voorkeur geen kruisende en parallel gelegen mantelbuizen toegestaan.
4	Mantelbuizen die de dijk kruisen dienen voorzien te zijn van een deugelijke afdichting om piping door deze mantelbuis te voorkomen.
5	Leidingen die niet fysiek worden geraakt en voldoen op grond van waterveiligheid omdat er bijvoorbeeld voldoende restprofiel aanwezig blijft mogen blijven liggen (gedoogbeleid).
6	Bestaande kabels hebben geen invloed op de waterveiligheid.
7	Nieuwe kabels dienen waar mogelijk te worden geweerd uit de waterkering.

Randvoorwaarden en uitgangspunten, waterveiligheid	
8	K&L die binnen de invloedszone van de waterkering liggen of komen te liggen dient het leidingdossier overeenkomstig de NEN3651 op orde te zijn. Dit om toekomstige beoordelingen van de K&L te bespoedigen.
Geotechnische beoordeling i.r.t. waterveiligheid	
9	Voor de kabels en leidingen die niet op grond van de uitvoering van de dijkversterking danwel beheer en onderhoud moeten worden verwijderd / verlegd, wordt in de planuitwerkingsfase een aanvullende geotechnische beoordeling uitgevoerd.

9.8 Wegen en bereikbaarheid

De noordzijde van het traject loopt de dijk parallel met de A6. Vooralsnog lijkt er geen direct raakvlak met de A6. Met uitzondering van het meest noordelijke traject nabij de Ketelbrug, waar de afrit op kortere afstand van de dijk is gelegen. Dit deel wordt uitgewerkt als maatwerklocatie. Verder zuidelijk nabij de Klokbekerweg is de ontsluitingsweg “IJsselmeerdijk” aan de binnenzijde van de dijk aanwezig die toegankelijk is voor autoverkeer. Nabij het Houtribbos sluit deze weg aan op de provinciale weg N307 die doorloopt tot aan de kruising Houtribdijk. De N307 ligt ter hoogte van het golfpark op de binnenberm van de IJsselmeerdijk. Daarnaast is er sprake van een doorgaand befietsbaar onderhoudspad over de volledige lengte van de dijk.

Uitgangspunt in ontwerploop 1 is dat bestaande wegen in dezelfde functionaliteit en met dezelfde dimensies terugkomen in het nieuwe dijkontwerp. Daarnaast is het uitgangspunt dat percelen van derden in het plangebied bereikbaar dienen te blijven tijdens en na de dijkversterking. In ontwerploop 1 zullen eisen van wegbeheerders worden verzameld die kunnen leiden tot andere uitgangspunten in ontwerploop 2.

9.9 Grondeigendom en vastgoed

In het algemeen is het dijklichaam in volledig eigendom van Waterschap Zuiderzeeland. Dit geldt vanaf de teensloot binnendijks tot een paar meter in het IJsselmeer (onderwatertalud - stortsteenbekleding). Op 10 december 2019 is het nieuwe eigendommenbeleid van Zuiderzeeland vastgesteld, ingaande per 1 januari 2020. Hierin staat dat het waterschap eigenaar van de dijken wil blijven en dat verkoop niet aan de orde is.

In het beleid is hierover het volgende opgenomen (niet specifiek voor de IJsselmeerdijk, maar geldig voor alle keringen in zijn algemeenheid):

- De kernzone van de primaire waterkering is in eigendom bij het waterschap, met uitzondering van:
  - de sluizen die in eigendom en beheer zijn van provincie Flevoland;
  - enkele gedeelten in de kern Urk, waarbij de kernzone op een aantal plaatsen door of vlak langs de bestaande bebouwing loopt;
- Het eigendom van de hierboven genoemde sluizen en gebouwen wordt niet actief verworven.
- Regionale (buitendijkse) keringen en overige of secundaire keringen worden in beginsel niet in eigendom verworven (de Knardijk: overige waterkering die in eigendom en beheer is bij het waterschap).
- Naast de primaire waterkeringen zijn diverse locaties in het beheergebied als kernzone aangewezen. Het gaat dan voornamelijk om buitendijks gelegen (strek)dammen, kades etc. Deze verdedigingswerken zijn niet in eigendom bij het waterschap.
- Waar niet de gehele kernzone van de primaire waterkering volledig eigendom is van het waterschap wordt dit eigendom actief verworven, behoudens de hiervoor genoemde uitzonderingen. Aangezien de bestaande primaire waterkeringen reeds eigendom zijn van het

waterschap, zal dit zich met name voordoen bij nieuwe keringen of bij het verleggen of aanleg van keringen.

- Als gevolg van technische aanpassingen ten behoeve van bijv. stedelijke ontwikkelingen kan de kernzone van vorm veranderen. Wijziging van de kernzone brengt met zich mee dat grond die binnen de nieuw te vormen zone komt te liggen, in eigendom (en in beheer) bij het waterschap dient te komen.

Voorlopig uitgangspunt is dat de dijkverbetering en de te nemen maatregelen passen binnen de beschikbare eigendommen van Waterschap Zuiderzeeland. Dit omdat de gehele strook van de dijk reeds in bezit is van het waterschap. Indien versterking plaatsvindt buiten de eigendommen van het waterschap dient in een vroegtijdig stadium overleg plaats te vinden met de betreffende perceeleigenaren. In Figuur 9-2 is een eigendomskaart van het waterschap weergegeven.

Figuur 9-2: Eigendomskaarten waterschap Zuiderzeeland

9.10 Morfologie

Behoudens alternatieven die uitgaan van een ontwikkeling van het voorland voorzien worden significante morfologische effecten niet verwacht. Wanneer een voorland alternatief (bijvoorbeeld een voeroever) ontwikkeld wordt, zal met de morfologie van het IJsselmeer rekening gehouden worden.

10 Referenties

[1] RHDHV/HKV, februari 2021, Versterking IJsselmeerdijk, Notitie Meekoppelkansen (2.6.3)
[2] RHDHV/HKV, juni 2020, Nadere Veiligheidanalyse IJsselmeerdijk, normtraject 8-3
[3] RHDHV/HKV, februari 2021, Versterking IJsselmeerdijk, Notitie Relevante Innovaties (2.6.4)
[4] BoschSlabbers, december 2020, Ruimtelijk kwaliteitskader IJsselmeerdijk Flevoland (IJMD)
[5] RHDHV/HKV, februari 2021, Versterking IJsselmeerdijk, Notitie bouwstenen en systeemmaatregelen (2.6.1)
[6] TU Delft / HKV lijn in water; Jongejan RMC; Waternet; Ministerie van Infrastructuur en Milieu, Rijkswaterstaat Water, Verkeer en Leefomgeving (RWS, WVL), december 2016, Grondslagen voor hoogwaterbescherming
[7] Waterschap Zuiderzeeland, januari 2021, Standaard Ontwerp Richtlijnen - Voor de versterking of reconstructie van de primaire waterkeringen van Waterschap Zuiderzeeland
[8] RHDHV/HKV, juli 2020, Voorverkenning Ontwerpopgave 2080, Bepaling ontwerpopgave en indicatieve kosteninschatting - IJsselmeerdijk 8-3
[9] RHDHV/HKV, februari 2021, Versterking IJsselmeerdijk, Beschrijving totstandkoming Hydraulische belastingen IJsselmeerdijk Zuiderzeeland (2.3)
[10] RHDHV/HKV, februari 2021, Versterking IJsselmeerdijk, Voorstel actualiseren Hydraulische belastingen IJsselmeerdijk (2.3)
[11] Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, Rijkswaterstaat, juni 2018, Peilbesluit IJsselmeergebied
[12] Ministerie van Verkeer en Waterstaat, Rijkswaterstaat, Rijksinstituut voor Integraal Zoetwaterbeheer en Afvalwaterbehandeling (RWS RIZA); C.P.M. Geerse, 2006, Hydraulische randvoorwaarden Vecht- en IJsseldelta.
[13] HKV en Svašek, „SWAN productieberekeningen IJsselmeer en Zwarte Meer voor WTI -2011
[14] Deltares, 2011, WAQUA-model IJsselmeer, IJsseldelta en Vecht. Opbouw, kalibratie en verificatie. 1202108-000
[15] Smale, A. (2017). Invloed van aangepaste correlatie tussen modelonzekerheid golfhoogte en golfperiode. Deltares memo 11201124-002-HYE-0005, 24 augustus 2017.
[16] J. W. van der Meer, NWH Allsop, T. Bruce, Julien De Rouck (UGent) , Andreas Kortenhaus (UGent) , T. Pullen, H. Schüttrumpf, Peter Troch (UGent) and B. Zanuttigh (2016), EurOtop: Manual on wave overtopping of sea defences and related structures : an overtopping manual largely based on European research, but for worldwide application
[17] Grontmij, maart 2012, Bodemdalingskaart Flevoland
[18] Smeenge/Bouman, 2018, Logboek STBI, Macrostabiliteit binnenwaarts
[19] Van der Meer, Niemeijer, Post, Heemstra, 2004, Technisch rapport waterspanningen bij dijken Waterkeringen (TAW)
[20] De Minister van Infrastructuur en Milieu, 2016, Regeling veiligheid primaire waterkeringen 2017
[21] Deltares, 2016, Protocol sonderen voor Su bepaling
[22] POV Macrostabiliteit, maart 2020, POVM Langsconstructies
[23] Visser, Jongejan, 2018, KPR factsheet werkwijze macrostabiliteit i.c.m. golfoverslag OI2014v4
[24] ENW Expertisenetwerk Waterveiligheid, 2012, Technisch Rapport Grondmechanisch Schematiseren bij Dijken
[25] Deltares, 2002, Afschuiving bekleding binnentalud tijdens overslag
[26] Deltares, 2015 Globale stochastische ondergrondschematisatie (WTISOS) voor de primaire waterkeringen
[27] Fiktorie, 2018, Logboek STMI
[28] Van Meurs, Niemeijer, Van Meerten, Langhorst, Meuwese, mei 2018, POV drainagetechnieken
[29] Smeenge, 2019 Logboek STPH Piping
[30] Steetzel, 2019, Zandversterking met succes in zoet water toegepast bij Houtribdijk
[31] Ministerie van Infrastructuur en Waterstaat, augustus 2020, factsheet 'Niet Waterkerende Objecten' versie 1

[32] Waterschap Zuiderzeeland, 2019, Collegeplan 2019-2023
[33] RHDHV/HKV, februari 2021, Versterking IJsselmeerdijk, Natuurinventarisatie bureauonderzoek (3.5.1)
[34] RHDHV/HKV, februari 2021, Versterking IJsselmeerdijk, Bureauonderzoek Archeologie en Cultuurhistorie (3.5.3)
[35] RPS, oktober 2020, Vooronderzoek CE IJsselmeerdijk
[36] RHDHV/HKV, februari 2021, Versterking IJsselmeerdijk, Bureauonderzoek conditionering: grondverzet in relatie tot de milieuhygiënische bodemkwaliteit (3.5.2)
[37] RHDHV/HKV, februari 2021, Versterking IJsselmeerdijk, Quickscan beïnvloeding kabels en leidingen (3.5.4)