



Planuitwerking KRW

3^e tranche IJsselmeergebied

Deelrapport hydraulische en morfologische effecten VKA (Fase 3, WP32)

Rijkswaterstaat

23 september 2024

Project
Opdrachtgever

Planuitwerking KRW 3e tranche IJsselmeergebied
Rijkswaterstaat

Document
Status
Datum
Referentie

Deelrapport hydraulische en morfologische effecten VKA (Fase 3, WP32)
Definitief
23 september 2024
131294-WP32/24-013.574

Projectcode

131294

Projectleider

Projectdirecteur

Auteur(s)

Gecontroleerd door

Goedgekeurd door

Paraaf

Adres

Witteveen+Bos Raadgevende ingenieurs B.V.
Leeuwenbrug 8
Postbus 233
7400 AE Deventer
+31 (0)570 69 79 11
www.witteveenbos.com
KvK 38020751

Het kwaliteitsmanagementsysteem van Witteveen+Bos is gecertificeerd op basis van ISO 9001.

© Witteveen+Bos

Niets uit dit document mag worden veeleenvoudigd en/of openbaar gemaakt in enige vorm zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van Witteveen+Bos noch mag het zonder dergelijke toestemming worden gebruikt voor enig ander werk dan waarvoor het is vervaardigd, behoudens schriftelijk anders overeengekomen. Witteveen+Bos aanvaardt geen aansprakelijkheid voor enigerlei schade die voortvloeit uit of verband houdt met het wijzigen van de inhoud van het door Witteveen+Bos geleverde document.

INHOUDSOPGAVE

1	INLEIDING	6
1.1	Achtergrond van dit project	6
1.2	Doel van dit document	7
1.3	Leeswijzer	8
2	KRW-MAATREGELEN	9
2.1	Overzicht projectlocaties en opgave	9
2.2	Zuidelijke oever Eemmeer (locatie 4)	11
2.3	Uitbreiding Ketelplaat in het Ketelmeer (locatie 11)	11
2.4	Zuidoostzijde Zwarte Meer (locatie 14)	13
3	BEOORDELINGSKADER EN UITGANGSPUNTEN	15
3.1	Beoordelingskader	15
3.2	Beoordelingsaspecten	15
3.2.1	Beoordelingsaspecten Eemmeer	15
3.2.2	Beoordelingsaspecten Ketelmeer en Zwarte Meer	16
3.3	Methode en uitgangspunten	17
3.3.1	Methode	17
3.3.2	Hydraulische modellen	17
3.4	Scenario's hydraulische modellering	19
4	HYDRAULISCHE EN MORFOLOGISCHE EFFECTEN EEMMEER	24
4.1	Introductie	24
4.2	Effecten op hoogwaterveiligheid	24
4.3	Effecten op zoetwaterbuffer	24
4.4	Mate van doorstroming	25
4.4.1	Inleiding	25
4.4.2	Analyse	25
4.5	Effecten op vaarweg	28
4.5.1	Inleiding	28
4.5.2	Stroombeeld in de vaarweg	28

4.5.3	Effecten op windgolven	31
4.5.4	Inschatting morfologische effecten	32
5	HYDRAULISCHE EN MORFOLOGISCHE EFFECTEN KETELMEER	33
5.1	Introductie	33
5.2	Hoogwaterveiligheid	33
5.2.1	Inleiding	33
5.2.2	Hoogwaterveiligheid - waterstandseffecten op de as van de rivier en nabij de primaire keringen	33
5.2.3	Hoogwaterveiligheid - inschatting effecten op hydraulisch belastingniveau	35
5.3	Hinder of schade door hydraulische effecten	37
5.3.1	Inleiding	37
5.3.2	Stroombeeld in vaarweg	37
5.3.3	Mate van doorstroming	42
5.3.4	Effecten op zoetwaterbuffer	43
5.4	Morfologische effecten	43
5.4.1	Inleiding	43
5.4.2	Effecten op stroming	43
5.4.3	Effecten op windgolven	45
5.4.4	Inschatting morfologische effecten	46
6	HYDRAULISCHE EN MORFOLOGISCHE EFFECTEN ZWARTE MEER	47
6.1	Introductie	47
6.2	Hoogwaterveiligheid	47
6.2.1	Inleiding	47
6.2.2	Hoogwaterveiligheid - waterstandseffecten op de as van de rivier	48
6.2.3	Hoogwaterveiligheid - waterstandseffecten nabij primaire keringen	49
6.2.4	Hoogwaterveiligheid - inschatting effecten op hydraulisch belastingniveau	53
6.3	Hinder of schade door hydraulische effecten	55
6.3.1	Inleiding	55
6.3.2	Stroombeeld in vaarweg	55
6.3.3	Mate van doorstroming	60
6.3.4	Effecten op zoetwaterbuffer	61
6.4	Morfologische effecten	61
6.4.1	Inleiding	61
6.4.2	Effecten op stroming	62
6.4.3	Effecten op windgolven	65
6.4.4	Inschatting morfologische effecten	65
7	CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN	66
7.1	Introductie	66
7.2	Conclusies en aanbevelingen	66

Laatste pagina

70

Bijlage(n)**Aantal pagina's**

I	Hydraulische modellering ten behoeve van ontwerp Eemmeer	4
II	Hydraulische modellering ten behoeve van ontwerp Ketelmeer	5
III	Hydraulische modellering ten behoeve van ontwerp Zwarte Meer	4
IV	Effecten van scheepvaart op de maatregel	1
V	Baseline schematisatie Eemmeer	4
VI	Baseline schematisatie Ketelmeer	4
VII	Baseline schematisatie Zwarte Meer	4
VIII	Toelichting op wijzigingen modellen	1
IX	Modelschematisatie Ketelmeer	2
X	Modelschematisatie Ketelmeer	3
XI	Modelschematisatie Zwarte Meer	3

INLEIDING

1.1 Achtergrond van dit project

Sinds 2000 is de Europese Kaderrichtlijn Water (KRW) van kracht. De algemene doelstelling van de KRW is om aquatische ecosystemen en terrestrische ecosystemen die afhankelijk zijn van water, te beschermen tegen verdere achteruitgang en om deze ecosystemen in kwaliteit te verbeteren. Als onderdeel van de KRW zet Rijkswaterstaat zich in om de ecologie en waterkwaliteit in het IJsselmeergebied te verbeteren. De KRW is een belangrijke opgave om de waterkwaliteit op orde te krijgen en ecologische waarden te beschermen. Daarnaast heeft het IJsselmeergebied diverse functies onder andere voor drinkwatervoorziening, natuur, landbouw, beroepsvaart, visserij en recreatie. De KRW-maatregelen die Rijkswaterstaat neemt, worden in drie tranches uitgevoerd: de eerste tranche maatregelen is inmiddels afgerond (2010 - 2015), de tweede tranche maatregelen loopt van 2016 - 2021 en de derde tranche maatregelen wordt uitgevoerd in de periode 2022 - 2027. Voor KRW is het van belang dat alle maatregelen van de KRW-opgave uiterlijk 2027 zijn gerealiseerd en opgeleverd.

Het doel van de KRW 3^e tranche MN is het verbeteren van de ecologische waterkwaliteit in drie waterlichamen: Ketelmeer/IJsselmeer (O: Z0003 en A: Z0003_b/01, 30 ha/6 km), Zwarte Meer (Z0001, 65 ha/13 km), en Randmeren-Zuid (Gooimeer, Eemmeer en Nijkerkernauw, X2279-d, 42 ha/8,4 km). Het verbeteren van de ecologische waterkwaliteit wordt beoogd middels het realiseren van KRW-inrichtingsmaatregelen horende bij M14: 'Ondiepe (matig grote) gebufferde meren'.

In de voorgaande fasen van het project zijn geschikte locaties geïdentificeerd en afgewogen. Dit heeft geresulteerd in het voorkeursalternatief (VKA). Het VKA bestaat uit 3 locaties, zoals weergegeven op afbeelding 1.1.

Afbeelding 1.1 Projectgebied met zoekgebieden KRW 3^e tranche MN



Binnen het project KRW 3^e tranche MN worden achtereenvolgens 4 fases doorlopen (zie afbeelding 1.2), die samen de planuitwerkingsfase vormen. Gedurende deze fases worden achtereenvolgens uitgangspunten en randvoorwaarden vastgesteld (Fase 1), varianten opgesteld en afgewogen (Fase 2) en wordt de voorkeursvariant opgesteld (Fase 3). Het eindresultaat van het project is een dossier op basis waarvan het MIRT3-besluit genomen kan worden (Fase 4).

Afbeelding 1.2 Fasering project KRW 3^e tranche MN



1.2 Doel van dit document

Dit rapport beschrijft de hydraulische en morfologische effecten van het VKA en is onderdeel van Fase 3 waarin de volgende producten worden opgeleverd:

- Voorkeursvariant [WP31];
- Hydraulisch en morfologisch effectenonderzoek [WP32];
- Milieukundig (water)bodemonderzoek [WP33];
- Voorlopige ontwerpen [WP34];
- Effectenanalyse [WP35];
- Systeemeisenspecificatie [WP36];
- Kostenraming [WP37];
- Monitorings-, beheer- en onderhoudsplan [WP38];
- Integrale veiligheid [WP39];
- Ambitieweb [WP40];
- Cultuurhistorie en Archeologie [WP41];
- Kabels en Leidingen [WP42];
- Vooronderzoek NGE [43a];
- Project-risico-analyse OCE [43b];
- Vergunbaarheid [WP44];
- Procedure Wet milieubeheer [WP45];
- Projectbesluit Omgevingswet/Omgevingsvergunning eigen dienst [WP46];
- Stakeholderanalyse [WP50];
- Communicatie- en participatieplan [WP51];
- Stakeholderbijeenkomsten [WP52];
- KES (WP54).

Doelen van dit onderzoek zijn:

- 1 het toetsen van de effecten van de KRW-maatregelen uit het VKA in het Ketelmeer en Zwarte Meer aan het Rivierkundig Beoordelingskader (RBK-toets) als input voor het Projectbesluit Omgevingswet/Omgevingsvergunning eigen dienst;
- 2 het bepalen van de hydraulische en morfologische effecten ten behoeve van de notitie voorkeursvariant in Fase 3;
- 3 het bijdragen aan de onderbouwing van het ontwerp.

Voor deze rapportage heeft overleg plaatsgevonden met Rijkswaterstaat. Daarnaast zijn de ontwerpen integraal geoptimaliseerd om de effecten van de ingrepen zoveel mogelijk te beperken.

1.3 Leeswijzer

Onderstaande tabel toont de opbouw van het deelrapport.

Tabel 1.1 Leeswijzer

Doel	Hoofdstuk/bijlage		Stap uit werkpakket WP32
context	1	Inleiding	
	2	KRW-maatregelen	
samenvatting	7	Conclusies en aanbevelingen	
RBK-toetsing	3	Beoordelingskader en uitgangspunten	stap 1 t/m 3, stap 5, stap 7a
	5, bijlages VI en X	Hydraulische en morfologische effecten Ketelmeer	
	6, bijlages VII en XI	Hydraulische en morfologische effecten Zwarte Meer	
hydraulische en morfologische effecten	3	Beoordelingskader en uitgangspunten	stap 1 t/m 3, stap 5, stap 7a
	4, bijlages V en IX	Hydraulische en morfologische effecten Eemmeer	
	5, bijlages VI en X	Hydraulische en morfologische effecten Ketelmeer	
	6, bijlages VII en XI	Hydraulische en morfologische effecten Zwarte Meer	
onderbouwing ontwerp	bijlage I	Hydraulische modellering ten behoeve van ontwerp Eemmeer	stap 4 en stap 7b
	bijlage II	Hydraulische modellering ten behoeve van ontwerp Ketelmeer	
	bijlage III	Hydraulische modellering ten behoeve van ontwerp Zwarte Meer	
	bijlage IV	Effecten van scheepvaart op de maatregel	stap 6

2

KRW-MAATREGELEN

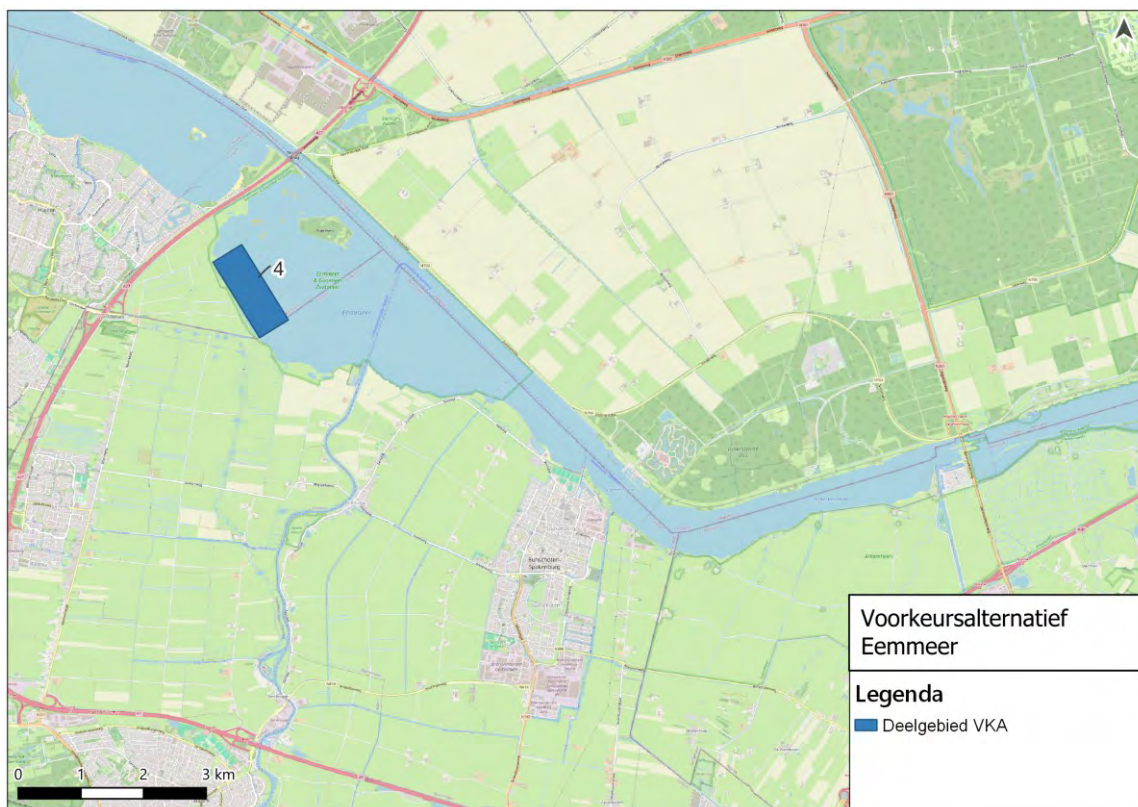
2.1 Overzicht projectlocaties en opgave

Het project omvat de volgende locaties (zie ook afbeelding 1.1):

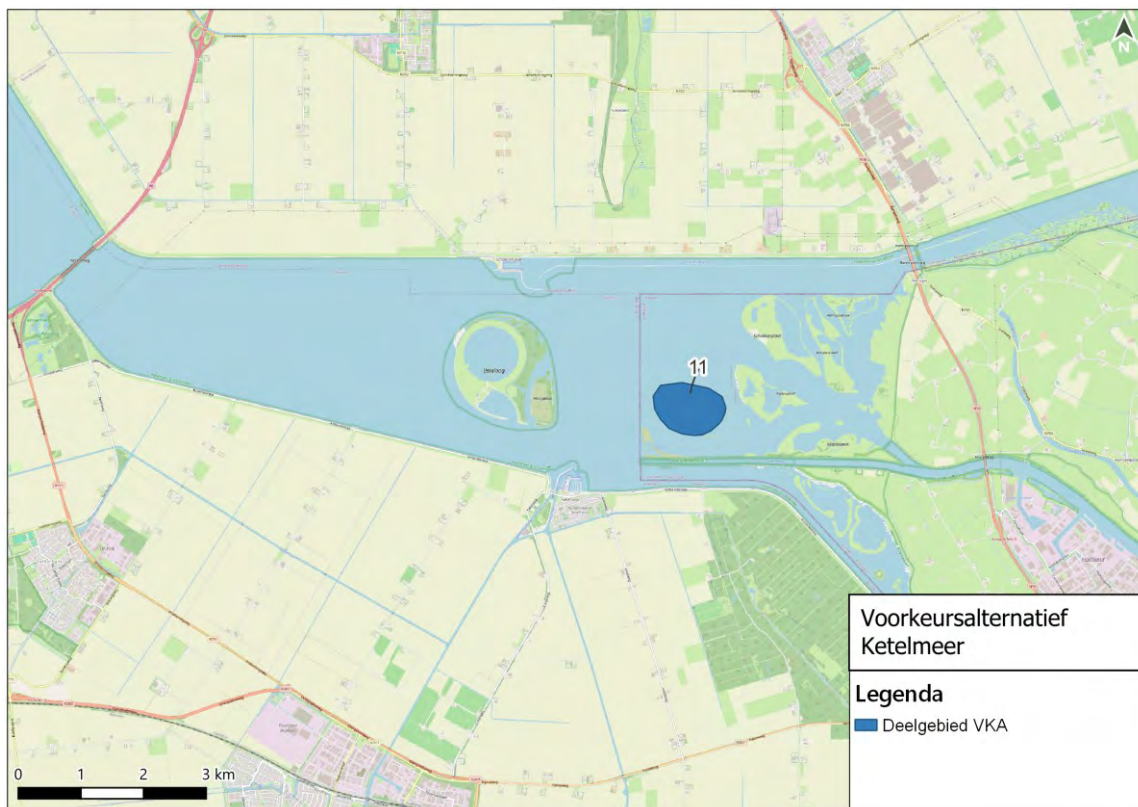
- zuidelijke oever Eemmeer (nummer 4 in afbeelding 2.1);
- uitbreiding Ketelplaat aan de oostzijde van het Ketelmeer (nummer 11 in afbeelding 2.2);
- zuidoostzijde Zwarte Meer (nummer 14 in afbeelding 2.3).

De verschillende locaties worden in de volgende paragrafen nader toegelicht. Het ontwerp van de maatregelen is nader beschreven in het deelrapport Voorlopig Ontwerp (WP34).

Afbeelding 2.1 Overzicht locatie maatregel 4 Eemmeer



Afbeelding 2.2 Overzicht locatie maatregel 11 Ketelmeer



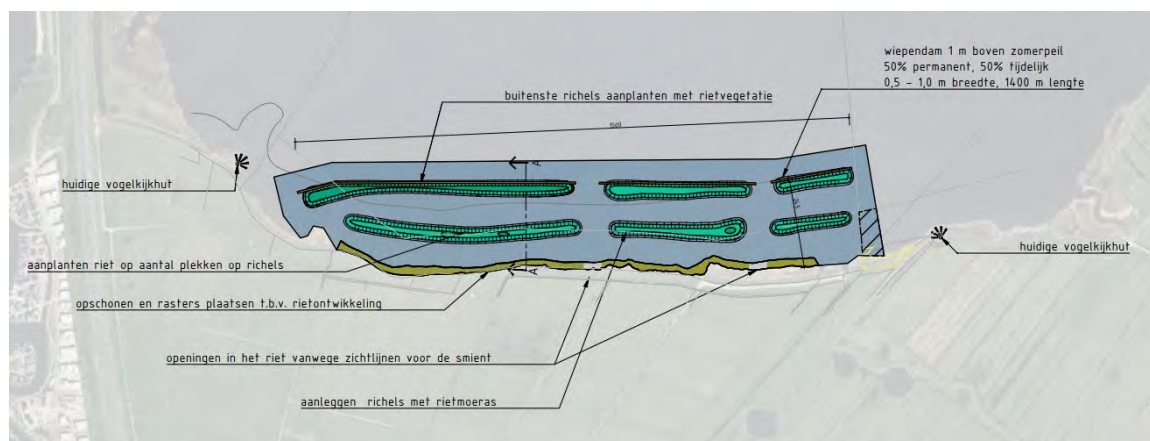
Afbeelding 2.3 Overzicht locatie maatregel 14 Zwarte Meer



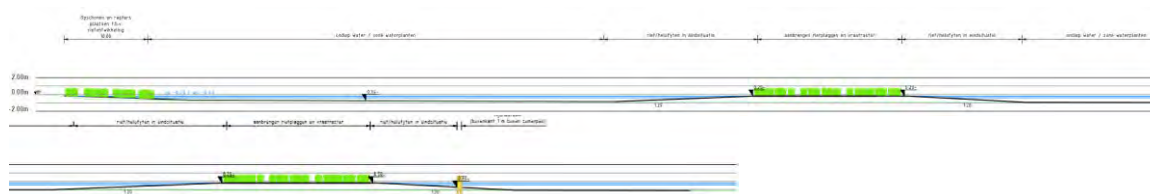
2.2 Zuidelijke oever Eemmeer (locatie 4)

Voor de oever worden onderwater richels (verhogingen onder water) gecreëerd, in een mozaïek patroon zoals te zien in afbeelding 2.4. Hierop worden op delen helofyten geplaatst met vraatafrastering. De helofyten zullen zich verder natuurlijk ontwikkelen. De door beweiding van de kade verdwenen rietgordel wordt hersteld en uitgebreid door de oever te verflauwen en vraatrasters te plaatsen. In de ondieptes gelegen tussen de richels ontstaan submerse vegetaties met habitats voor plantminnende en zuurstoftolerante vissoorten (zeelt, grote modderkruiper, snoek), amfibieën en plantgebonden macrofauna. De buitenste richel wordt tegen erosie beschermd middels een tijdelijke of permanente golfbeschermingsconstructie. Tussen de richels zal op de diepere delen dood hout geplaatst worden.

Afbeelding 2.4 Overzichtstekening maatregel zuidelijke oever, Eemmeer locatie 4



Afbeelding 2.5 Doorsnede A-A' van richels. NB. doorsnede onder sluit aan op rechterzijde doorsnede boven



2.3 Uitbreiding Ketelplaat in het Ketelmeer (locatie 11)

Voor de Ketelplaat wordt een rietzone met land-water overgangen met ondiepe zones gecreëerd zoals weergegeven in afbeelding 2.6 en afbeelding 2.7. Voor de maatregel wordt een golfbreker in de vorm van een rijshoutdam aangebracht die ca. 0,5 meter boven het water uitkomt. Het doel van deze dam is het reduceren van golfbelasting, met name gedurende de eerste jaren na aanleg wanneer het op de oevers aangeplante riet nog niet volwassen is. Een indicatie van het ontwerp van deze rijshouten dammen is gegeven in afbeelding 2.8.

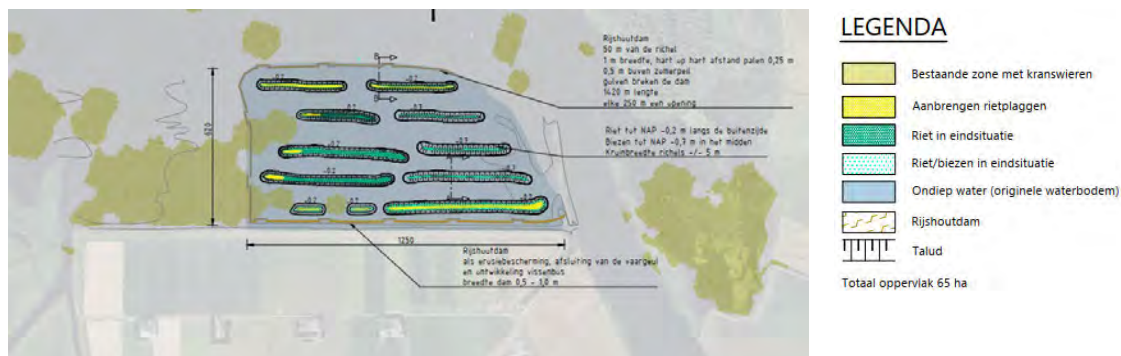
Tussen de rijshouten dam en de oeverlijn van de richel is een afstand van 50 m aangehouden. Deze afstand is ingericht om te anticiperen op golven die breken over de rijshouten dam. De verwachting is dat de turbulentie die hiermee gemoeid gaat na 50 meter grotendeels is gedissipeerd. Uitgangspunt daarvoor is wel dat de kruin van de rijshouten dammen voldoende hoog ligt om een deel van de inkomende golven te breken. De geometrie van de rijshouten dammen kan in de volgende (DO-)fase mogelijk nog veranderen om de effectiviteit van de rijshouten dammen op de reductie van golfbelasting te vergroten. Op dit punt wordt in de conclusies en aanbevelingen nader in gegaan (hoofdstuk 7).

Aan de bovenkant van de richels ontstaat riet en helofyten. Dit riet wordt met rasters beschermd tegen vraat. De ondiepere zone en geulen zullen begroeid raken met waterplanten (o.a. rivierfonteinkruid, watergentiaan, kranswieren). Ook wordt in de geulen dood hout geplaatst. Op de richels en in de ondiepe zones en geulen ontstaan habitats voor plantgebonden macrofauna en plantminnende en zuurstoftolerante vissen en vissen die van en naar de IJssel migreren. De bestaande oever van de Ketelplaat is in de huidige situatie afgedekt met stortsteen. Hier wordt een laag grond overheen aangebracht waar riet op kan groeien.

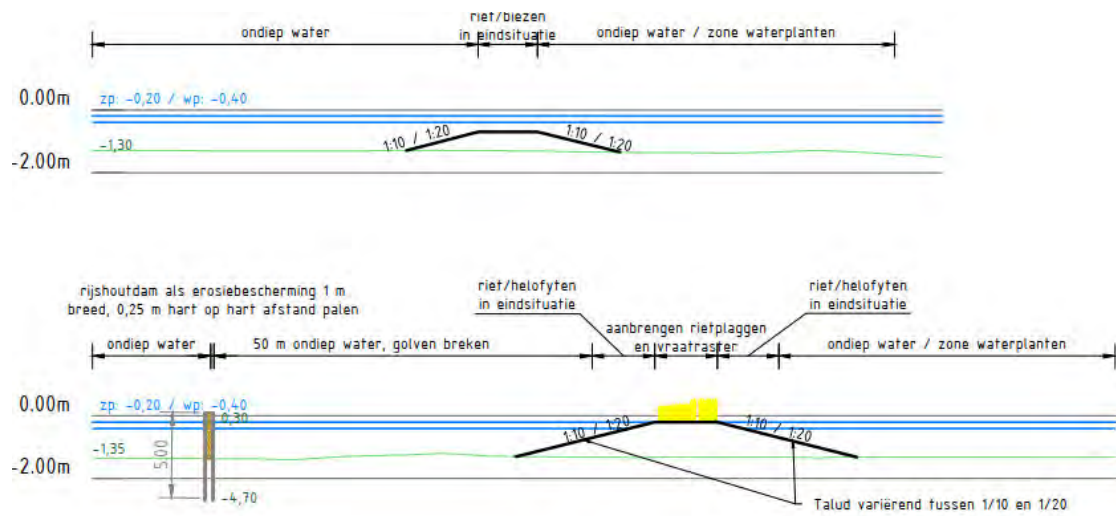
The diagrams illustrate the cross-section of a road with a 10% longitudinal slope. The top diagram shows a 10m wide road with a 0.2m shoulder, a 2.5m wide drainage ditch, and a 1.5m wide drainage ditch. The bottom diagram shows a 10m wide road with a 0.2m shoulder, a 2.5m wide drainage ditch, and a 1.5m wide drainage ditch. Both diagrams include labels for 'verkeersstrook in verdunde' and 'verkeersstrook in verdunde'.

Deze maatregel bestaat uit het creëren van ondiepten en richels onder water langs de recreatievaargeul, zoals weergegeven in afbeelding 2.9. Door het realiseren van richels onderwater ontstaat er emerse vegetatie, bestaande uit riet en mattenbiezen. Dit zal met vraastrasters worden beschermd. Tussen de richels ontstaan er luwe zones met submerse en drijvende vegetatie. Langs de vaargeul wordt een (tijdelijke) oeverbescherming toegepast als bescherming tegen de golven veroorzaakt door de recreatievaart. Door de grote randlengte van de helofytenzone en de aansluiting op de bestaande kranswielvelden zullen plantgebonden macrofaunasoorten en plantminnende vissen profiteren, evenals vissen die naar het Zwarte Water/Vecht trekken.

Afbeelding 2.9 Overzichtstekening maatregel zuidoostzijde, Zwarte Meer locatie 14



Afbeelding 2.10 Doorsnede A-A' (boven) van richel met biez en doorsnede B-B' (onder) van richel met riet/helofyten.
Schaal 1:1000 (x) / 1:200 (y)



3

BEOORDELINGSKADER EN UITGANGSPUNTEN

3.1 Beoordelingskader

De kaders voor de hydraulische en morfologische effecten van ingrepen verschillen per watersysteem:

- voor ingrepen in het IJsselmeer en de Zuidelijke Randmeren gelden de voorwaarden uit het Besluit kwaliteit leefomgeving (Bkl) en uit het Omgevingsbesluit;
- voor ingrepen in het Zwarte Meer en Ketelmeer zijn aanvullend hierop de voorwaarden uit de Beleidsregels Grote Rivieren van toepassing. Deze voorwaarden zijn nader uitgewerkt in het Rivierkundig Beoordelingskader (verder aangeduid met RBK). De nieuwste versie van het Rivierkundig Beoordelingskader (versie 6, [ref. Rijkswaterstaat (2023)]) is sinds 1 maart 2023 van kracht.

Bovenliggend hieraan geldt voor alle watersystemen de Omgevingswet.

3.2 Beoordelingsaspecten

De beoordelingsaspecten zijn gepresenteerd per watersysteem.

3.2.1 Beoordelingsaspecten Eemmeer

De beoordelingsaspecten van hydraulische en morfologische effecten van ingrepen in de Zuidelijke Randmeren¹ zijn samengevat in onderstaande tabel:

Hierbij wordt opgemerkt dat ervan uit wet- en regelgeving worden in de Zuidelijke Randmeren geen randvoorwaarden of criteria t.a.v. hydraulische en morfologische effecten voorgeschreven zijn. Dit heeft als gevolg dat de effecten gepresenteerd worden, maar dat hier geen oordeel aan verbonden wordt.

Tabel 3.1 Beoordelingsaspecten ten aanzien van hydraulische en morfologische effecten in de Zuidelijke Randmeren

Functie	Aspect	Toelichting	Criterium	Beoordelaar
hoogwaterveiligheid	verlies aan komberging	verlies aan watervolume boven het winterpeil	geen criterium (zolang het overstroombare natuur is, zie Bkl)	beheerder (klanteis vanuit district)
zoetwaterbuffer	verlies aan zoetwaterbuffer	verlies aan watervolume binnen de bandbreedte van het zomerpeil (tussen NAP -0,1 m en NAP -0,3 m)	geen criterium (zolang het overstroombare natuur is, zie Bkl)	beheerder (klanteis vanuit district)

¹ Per e-mail verstrekt door Rijkswaterstaat op 31 januari 2023, afgestemd met afdeling Vergunningverlening.

Functie	Aspect	Toelichting	Criterium	Beoordelaar
vaarweg	aanzanding	indien nabij een vaarweg, dient aannemelijk gemaakt te worden dat deze als gevolg van de ingreep niet significant sneller aanzandt	geen criterium	vergunningverlening
beheer en onderhoud	levensduur	gedurende de exploitatiefase van het aan te leggen object		beheerder (klanteis vanuit district)

3.2.2 Beoordelingsaspecten Ketelmeer en Zwarte Meer

Het Ketelmeer en Zwarte Meer vallen in het stroomvoerend regime van de Beleidslijn Grote Rivieren en daarom is het RBK van toepassing. Een deel van de eisen uit het RBK is specifiek voor een rivier met een zomerbed en uiterwaarden. De te beschouwen ingrepen in dit project liggen in het Ketelmeer en Zwarte Meer. Daarom zijn alleen de relevante beoordelingsaspecten beschouwd en deze zijn samengevat in onderstaande tabel.

Omdat de zoekgebieden in meren liggen zijn ook niet alle beoordelingscriteria direct toepasbaar zoals voorgeschreven in het RBK. Met name de beoordeling van dwarsstroming behoeft een toelichting. Er zijn namelijk geen criteria voor meren. Daarnaast is de beschouwing van dwarsstroming en -debiet door bakenlijnen niet vanzelfsprekend op meren. Daarom is ervoor gekozen om ruimtelijke veranderingen in (maximale) stroomsnelheid in beeld te brengen in en rondom alle vaargrenzen om zo tot een oordeel te komen. Op basis van de veranderingen in stroombeeld zijn ook kwalitatieve uitspraken gedaan over de te verwachten morfologische effecten.

Tabel 3.2 Beoordelingsaspecten ten aanzien van hydraulische en morfologische effecten in het Ketelmeer en Zwarte Meer

Functie	Beoordelingsaspect	Criterium	Beoordelaar
hoogwaterveiligheid	waterstandseffecten op de as van de rivier	geen waterstandsverhoging bij hoogwaterreferentie (in praktijk max. 1 mm opstuwing) - op basis van CPI-scenario's	vergunningverlening
	waterstandseffecten nabij primaire waterkeringen	nader te bepalen	waterkeringbeheerder
	hydraulisch belastingniveau (combinatie van waterstand en golfcondities)	nader te bepalen	waterkeringbeheerder
zoetwaterbuffer	verlies aan zoetwaterbuffer: Verlies aan watervolume binnen de bandbreedte van het zomerpeil (tussen NAP -0,1 m en NAP -0,3 m)	geen criterium (zolang het overstroombare natuur is, zie Bkl)	beheerder (klanteis vanuit district)
vaarweg	stroombeeld in de vaarweg: dwarsstroming (in het geval van rivieren met bakenlijnen)	dwarsstroming dient kleiner te zijn dan: 0,3 m/s als het dwarsdebiet < 50 m ³ /s 0,15 m/s als het dwarsdebiet > 50 m ³ /s of de toename van de padbreedte van een schip is kleiner dan ½ B	vergunningverlening
	aanzanding van vaarweg	geen vermindering vaargeulafmetingen	vergunningverlening

Functie	Beoordelingsaspect	Criterium	Beoordelaar
		geen verhoging maatgevende waterstand op lange termijn indien nabij een vaarweg, dient aannemelijk gemaakt te worden dat deze als gevolg van de ingreep niet significant sneller aanzandt	
overige morfologische effecten	erosie	geen erosie in directe nabijheid van primaire waterkeringen of constructies. In principe geen oevererosie	vergunningverlening Eventueel: waterkeringbeheerder
beheer en onderhoud	levensduur	gedurende de exploitatiefase van het aan te leggen object	beheerder (klanteis vanuit district)

3.3 Methode en uitgangspunten

3.3.1 Methode

3.3.2 Hydraulische modellen

De volgende hydraulische modellen zijn ter beschikking gesteld door Rijkswaterstaat. Deze modellen zijn ingezet in deze fase voor simulaties van de effecten van het voorkeursalternatief (VKA).

Stromingsmodellering

De toegepaste stromingsmodellen zijn toegelicht in tabel 3.3. Het Markermeermodel (D-HYDRO) heeft ter plaatse van zoekgebied 4 een driehoekvormig rooster met een roostermaat van 50 m. Voor het IJsselmeermodel (WAQUA) ligt binnen het Ketelmeer en Zwarte Meer een curvilineair rooster, met rechthoekige cellen met een roostermaat van respectievelijk ca. 40 m x 20 m en ca. 60 m x 30 m. De resolutie van de modellen is relatief grof in vergelijking tot de geometrie van het VKA-ontwerp dat hier wordt voorzien. Daarom is na het inmixen van de maatregelen beoordeeld of de op het rooster geprojecteerde bodemhoogte binnen de zoekgebieden representatief is voor het ontwerp. Waar nodig, zijn overlaten aangebracht op de eilanden om de kruinhoogte van de eilanden beter te representeren. Op deze manier is getracht de invloed van het VKA op de omgeving zo goed mogelijk in beeld te brengen.

Deze handmatige toevoeging van overlaten is doorgevoerd voor zoekgebied 4 omdat de richels vrijwel niet zichtbaar waren in de modelbodem. Voor zoekgebieden 11 en 14 is besloten de modelbodem in WAQUA niet verder aan te passen. Hiervoor gelden de volgende argumenten:

- de hoekpunten van rekencellen hebben grotendeels een bodemhoogte die de beoogde bodemhoogte benaderen;
- de rekencellen zijn breed ten opzichte van de breedte van de richels. Ondanks dat de bodemhoogte niet in alle cellen overeen komt met de kruinhoogte van de richels, wordt verwacht dat de relatief grote breedte van de rekencellen de lagere bodemhoogte compenseert;
- de taluds van de richels zijn flauw, met een taludhelling van 1:10 tot 1:20. Schematisatie met behulp van overlaten zou waarschijnlijk een overschatting opleveren van het energieverlies over de richels;
- de verwachting is dat de ruwheid binnen de zoekgebieden bepalend is bij de inschatting van de hydrodynamische effecten. Met name de rijshouten dammen (c.q. heggen), en het riet/biezen op de kruinen van de eilanden leveren een relatief grote bijdrage aan de stromingsweerstand.

De resultaten van de hydrodynamische berekeningen worden gefilterd op een waterdiepte van 5 cm. Overal waar de waterdiepte kleiner is dan deze drempelwaarde, wordt droogval verondersteld.

Tabel 3.3 Toegepaste hydraulische modellen

Watersysteem	Modelschematisatie	Referentie	Software
Gooimeer, Eemmeer en Nijkerkernauw	<u>Baseline:</u> baseline-markermeer-beno19_6-v1 <u>D-HYDRO:</u> dflowfm2d-markermeer-beno19_6-v1a (zie bijlage I.1)	[ref. Deltares (2021)] en [ref. Deltares (2019)]	D-HYDRO Flexible Mesh: dhydro2d3d 2022.01 patch 1 dimr
Zwarte Meer, Ketelmeer en monding IJsselmeer	<u>Baseline:</u> baseline-ym_ijvd_ov-hr2017_5-v4 <u>D-HYDRO:</u> Ym_ijvd_ov-hr2017_5-v4 (zie bijlage II.1, III.1)	[ref. Deltares (2015)]	SIMONA 2019 patch 1 (WAQUA)

In de stromingsmodellen zijn de rijshouten dammen geïmplementeerd als een dichte heg. Een dichte heg is een lijnvormig object, poreus en is overstroombaar zodra de waterstand de kruinhoogte van de heg bereikt. Deze eigenschappen komen goed overeen met een rijshouten dam. Aangezien er geen ruwheidsclassificatie voor rijshouten dammen bestaat binnen Baseline, is daarom gekozen om de rijshouten dam als heg te schematiseren². Het voordeel van deze methode van het schematiseren van rijshouten dammen is dat deze op relatief eenvoudige, maar doeltreffende manier kunnen worden opgenomen in het model. De verwachting is dat heggen in de praktijk tot een vergelijkbare stromingsweerstand leiden als de rijshouten dammen omdat ze beiden uit vergelijkbaar (natuurlijk) materiaal bestaan en een vergelijkbare (takken-) structuur bevatten.

De eigenschappen van de rijshouten dammen zijn samengevat in tabel 3.4. De rijshouten dammen (c.q. heggen) zijn toegevoegd als lijnelementen in het stromingsmodel.

Tabel 3.4 Overzicht van rijshouten dammen zoals deze zijn opgenomen in de stromingsmodellen

	Gooimeer Zoekgebied 4	Ketelmeer Zoekgebied 11 Ketelplaat	Zwarte Meer Zoekgebied 14 Scheepvaartgat
kruinhoogte	NAP +0,80 m	NAP +0,30 m	NAP +0,30 m
bodemhoogte	NAP -0,70 m	NAP -2,66 m	NAP -1,35 m
totale hoogte boven waterbodem	1,50 m	2,99 m	1,65 m
geïmplementeerde hoogte boven waterbodem	2 m	3 m	2 m
ecotopencode	1606	1609	1606

Golfmodellering

De gebruikte golfmodellen zijn samengevat in tabel 3.5. De afmetingen van de roostercellen in het IJsselmeermiddel ter plaatse van de zoekgebieden 11 en 14 bedragen 20 m x 20 m. De afmetingen van de

² De methode is afgestemd met [REDACTED] (Rijkswaterstaat Oost-Nederland) op 19 juni 2024.

roostercellen van het Eemmeer golfmodel ter plaatse van het zoekgebied zijn 40 m x 40 m. De rijshouten dammen zijn in de modellen geschematiseerd als obstacles, omdat eenzelfde methode als in de stromingsmodellen (als dichte heg) niet mogelijk is. De SWAN-modellen maken geen onderscheid in doorlatendheid van objecten. De doorlatendheid is daarom hetzelfde gelaten voor de rijshouten dammen. Deze golftransmissie wordt beschreven door de Goda-coëfficiënten α en β die op respectievelijk 2,6 en 0,15 zijn gehouden (net als bij alle andere reeds aanwezige objecten in de meren).

Tabel 3.5 Toegepaste SWAN modellen voor windgolven

Watersysteem	Modelschematisatie	Referentie	Software
Zwarte Meer	SWAN hr2017_5-v1_productie-YVO (met geopende Ramspolkering)	[ref. Deltares (2015)] en [ref. Deltares (2016a)]	SWAN-versie 40.72ABCDE
Ketelmeer	SWAN hr2017_5-v1_productie-KEM	[ref. Deltares (2015)] en [ref. Deltares (2016b)]	SWAN-versie 40.72ABCDE
IJsselmeer	SWAN hr2017_5-v1_productie-YSM	[ref. Deltares (2015)]	SWAN-versie 40.72ABCDE
Gooimeer, Eemmeer en Nijkerkernauw	swan-markermeer-hr2023_6-v1a	[ref. Deltares (2021)]	SWAN-versie 41.31A.1

3.4 Scenario's hydraulische modellering

In fase 3 van de planuitwerking van KRW 3^e tranche IJsselmeergebied wordt een voorlopig ontwerp opgesteld en worden de hydraulische en morfologische effecten bepaald ter onderbouwing van het Projectbesluit onder de Omgevingswet of Omgevingsvergunning eigen dienst.

Deze paragraaf bevat een toelichting op de scenario's (combinaties van randvoorwaarden) die gehanteerd zijn in de hydraulische modellering. Hierbij is onderscheid gemaakt tussen:

- scenario's voor RBK-toetsing hydraulische en morfologische effecten van de KRW-maatregelen in het Ketelmeer en Zwarte Meer (blz. 20);
- scenario's ten behoeve van het ontwerp van de KRW-maatregelen in het Ketelmeer en Zwarte Meer (blz. 21);
- scenario's ten behoeve van het ontwerp van de KRW-maatregelen in de Zuidelijke Randmeren (specifiek: Eemmeer, blz. 22).

Ieder scenario is gekoppeld aan één of meerdere functies/aspecten:

- hoogwaterveiligheid (waterstand);
- scheepvaart:
 - dwarsstroming;
 - aanzanding vaargeul/hoogwatergeul;
- mate van doorstroming en inschatting verblijftijd (wind en afvoer) rondom en binnen KRW-maatregelen;
- morfologie van en rondom KRW-maatregelen:
 - sedimentatie (identificatie van vertragsgebieden);
 - erosiebestendigheid (risico's voor herstel vegetatie);
 - belasting van erosiebeschermende maatregelen.

Bij het opstellen van de scenario's is uitgegaan van het voorkeursalternatief met maatregelen in de zoekgebieden uit afbeelding 1.1. Het voorkeursalternatief omvat maatregelen in één gebied in het Eemmeer (zuidwest oever zoekgebied 4), één gebied in het Ketelmeer (Ketelplaat zoekgebied 11) en één gebied in het Zwarte Meer (zuidoost oever zoekgebied 14).

De scenario's zijn tot stand gekomen in overleg met zowel het Rijkswaterstaat KRW-projectteam als de beoordelaars van de effecten.

Scenario's voor RBK-toetsing hydraulische en morfologische effecten Ketelmeer en Zwarte Meer

Voor de functie hoogwaterveiligheid zijn vijf scenario's weergegeven in tabel 3.6. Deze scenario's zijn gebaseerd op een selectie van **Conditionele Illustratiepunten (CIP's)** die zijn voorgesteld door Rijkswaterstaat [ref. 21]. Het Rivierkundig Beoordelingskader [ref. 11] ligt toe dat de methode met CIP's een benaderende methode is, waarbij met een relatief klein aantal slim gekozen berekeningen het effect van een maatregel op de hoogwaterreferentie kan worden bepaald. Uit een bestaande database van Hydra-NL, worden voor de betreffende locatie (in de buurt van) waar de ingreep plaatsvindt CIP's afgelezen. Dit zijn de combinaties van randvoorwaarden die voor de locatie van de ingreep de grootste kansbijdrage geven aan het bereiken van de maatgevende waterstand.

Voor het **Zwarte Meer** zijn drie CIP-scenario's beschouwd die verschillen in de mate waarbij stormen of afvoeren domineren. De herhaaltijd die bij deze scenario's hoort is T3.000 jaar. In de scenario's is uitgegaan van een correlatie tussen de afvoeren van de IJssel en de Vecht conform de aanname in WBI2017. De CIP-locaties waarop de CIP-scenario's zijn gebaseerd zijn *ZwarteMeer1* en *ZwarteMeer10*. Beide locaties tonen vergelijkbare scenario's. Bij geopende (falende) Ramspolkering treden twee bepalende situaties op: (1) lage meerpeilen en Vechtafvoeren met hoge wind en (2) hogere Vechtafvoer en meerpeilen met minder wind. Het derde bepalende scenario betreft (3) een gesloten Ramspolkering, hoge meerpeilen en een hoge Vechtafvoer.

De drie CIP-scenario's worden ten eerste gebruikt voor het analyseren van waterstandsverschillen op de rivieras van het Zwarte Water ten gevolge van het VKA-ontwerp in zoekgebied 14. In deze afleiding worden de effecten van de drie verschillende stochastische berekeningen gewogen met behulp van een wegingsfactor, gelinkt aan de kansbijdrage van de CIP-scenario's. Dit betekent dat de effecten op de as van het Zwarte Water als volgt worden bepaald aan de hand van de drie scenario's:

$$\begin{aligned} \text{Waterstandseffect}_{\text{gewogen}} &= \text{Waterstandseffect}_{\text{ZWA}} * \text{wegingsfactor}_{\text{ZWA}} \\ &+ \text{Waterstandseffect}_{\text{ZWB}} * \text{wegingsfactor}_{\text{ZWB}} \\ &+ \text{Waterstandseffect}_{\text{ZWC}} * \text{wegingsfactor}_{\text{ZWC}} \end{aligned}$$

Hierin is de som van de drie wegingsfactoren 1.

Naast de verschillen op de rivieras, worden voor de stochastische scenario's ook de tweedimensionale waterstandsvelden in beeld gebracht. De resultaten van deze berekeningen worden niet gewogen, maar individueel beschouwd. Op deze manier wordt inzicht verkregen in de ruimtelijke verdeling van waterstandseffecten onder verschillende extreme wind- en afvoercondities.

Voor zoekgebied 11 in het **Ketelmeer** zijn twee CIP-locaties beschouwd: *KattenRamsgeul02* en *Vossemeer30*. Uiteindelijk is hieruit één CIP-scenario geselecteerd omdat de CIP-scenario's voor locaties in de buurt van het zoekgebied vergelijkbaar zijn, en omdat het windeffect bepalend is voor het hoogwater op deze locatie. Voor dit scenario is het belangrijk op te merken dat binnen dit gebied de werkelijke hoogwaterveiligheid is gebaseerd op een signaleringswaarde horende bij T10.000 jaar. Onder deze condities (waterstand NAP +3,40 m) overstroomt de kade IJsselmuiden-Ramspol (kadehoogte NAP +2,70 m) en stroomt het Kampereiland mee. De verwachting is dat hydrodynamische effecten groter zijn bij minder extreme condities waarbij de kade niet overstroomt. Daarom is een stormgedomineerd scenario met T1.000 jaar gekozen voor deze beoordeling.

Voor scheepvaart wordt uitgegaan van condities, waarbij de buitendijkse gebieden nog net niet overstromen. Er is gekozen voor condities met een herhaaltijd van 1/10 jaar condities waarin ook lagere waterstanden optreden dan in de CIP-scenario's. Onder deze condities is scheepvaart nog mogelijk, maar worden mogelijk wel hydraulische effecten ondervonden door de KRW-maatregelen. Hiervoor worden 2 scenario's gehanteerd die duidelijk van elkaar verschillen (afvoerdominantie en stormdominantie), zodat inzicht verkregen wordt bij welke type condities er mogelijke effecten zijn. Daarnaast is ter aanvulling ook een T100 jaar afvoergedomineerde situatie beschouwd.

Tabel 3.6 Scenario's hydraulische en morfologische effecten KRW-maatregelen Ketelmeer en Zwarte Meer

Functie/aspect	Herhalingstijd/ Overschrijdingskans	Storm/wind	Rivierafvoer IJssel	Rivierafvoer Vecht	Overige
hoogwaterveiligheid Zwarte Meer locatie 14 (waterstand)	T3000 jaar ³ CIP Zwarte Meer A (ZWA)	snelheid: 28 m/s richting: 270°N stormverloop ⁴	320 m ³ /s	60 m ³ /s	open Ramspolkering; IJsselmeerpeil -0,2 m+NAP
	T3000 jaar CIP Zwarte Meer B (ZWB)	snelheid: 12 m/s richting: 270°N stormverloop ⁴	1.850 m ³ /s	550 m ³ /s	open Ramspolkering; IJsselmeerpeil 1,0 m+NAP
	T3000 jaar CIP Zwarte Meer C (ZWC)	snelheid: 17 m/s richting: 270°N stormverloop ⁴	1.630 m ³ /s	475 m ³ /s	gesloten Ramspolkering; IJsselmeerpeil 0,85 m+NAP
hoogwaterveiligheid Ketelmeer locatie 11 (waterstand)	T1.000 jaar ⁵ (storm) i.c.m. gemiddelde afvoer (KMO)	snelheid: 32 m/s richting: 292,5°N stormverloop ⁴	300 m ³ /s	55 m ³ /s	open Ramspolkering ⁶ ; IJsselmeerpeil -0,25 m+NAP
scheepvaart: dwarsstroming & Hinder en schade	T10 jaar ⁷	geen	1.329 m ³ /s	299 m ³ /s	open Ramspolkering IJsselmeerpeil -0,1 m+NAP
	T10 jaar	snelheid: 24 m/s richting: 270°N stormverloop ⁴	280 m ³ /s	50 m ³ /s	gesloten Ramspolkering IJsselmeerpeil -0,1 m+NAP
	T100 jaar	geen	2.040 m ³ /s [ref. Deltares (2017)]	419 m ³ /s [ref. Deltares (2017)]	open Ramspolkering IJsselmeerpeil -0,4 m+NAP
scheepvaart: aanzanding vaargeul/ hoogwatergeul	T10 jaar	geen	1.329 m ³ /s	299 m ³ /s	open Ramspolkering IJsselmeerpeil -0,1 m+NAP

Scenario's ten behoeve van onderbouwing ontwerp Ketelmeer en Zwarte Meer

Het voorkeursalternatief omvat maatregelen in één gebied in het Ketelmeer en één gebied in het Zwarte Meer. De voorgestelde scenario's in tabel 3.7 passen bij deze gebieden.

Zowel bij de Ketelplaat in het Ketelmeer en voor het gebieden in het Zwarte Meer zijn de inkomende windgolven het hoogste bij een windrichting van 240 °N. Dit komt door de combinatie van een lange strijklengte en hogere windsnelheid dan uit andere windrichtingen. Dit blijkt uit de SWAN-modellering uit fase 1 [ref. Witteveen+Bos (2023a)].

Voor opwaaiing en windgedreven stroming is volgens de door RWS aangeleverde Conditionele Illustratiepunten [ref. Rijkswaterstaat (2023)] een westnoordwesten of westenwind maatgevend, vanwege de

³ Signaleringswaarde dijktrajecten 7-1 Zwarte Meer noordzijde en 10-2 Kamperzeedijk.

⁴ Stormverloop IJssel-Vechtdelta: 23 uur - 2 uur piek - 23 uur, op basis van [ref. Deltares (2015)].

⁵ Situatie waarbij het Kampereiland nog net niet meestroomt (kade IJsselmuiden - Ramspol).

⁶ Komt overeen met moment van onderlopen buitendijkse gebieden.

⁷ Komt overeen met moment van onderlopen buitendijkse gebieden.

kanteling van het IJsselmeer, Ketelmeer en Zwarte Meer. Voorgesteld wordt om uit te gaan van een westenwind (270 °N) vanwege de langste strijklengte in beide meren.

De waterbeweging onder invloed van scheepvaart (scheepvaartgolven) wordt geanalyseerd op basis van expert judgement (zie ook [ref. Witteveen+Bos (2023a)]).

Tabel 3.7 Scenario's ten behoeve van ontwerp KRW-maatregelen Ketelmeer en Zwarte Meer

Functie/aspect	Herhalingstijd/ overschrijdings kans	Storm/wind [ref. W+B (2023a)], [ref. Deltares (2017)]	Rivierafvoer IJssel bij Olst	Rivierafvoer Vecht bij Dalfsen	Overige
mate van doorstroming en inschatting verblijftijd (wind en afvoer)	gemiddelde (zomer) condities	snellheid: 5,7 m/s (uniform), richting: 240 °N	314 m³/s [ref. Reeze e.a. (2017)]	10 m³/s [ref. WVS (2017)]	IJsselmeerpeil -0,2 m+NAP (zomer)
morfologie: sedimentatie (vertragingengebieden)	1/1 per jaar	-	800 m³/s [ref. Deltares (2017)]	239 m³/s [ref. WVS (2017)]	IJsselmeerpeil -0,4 m+NAP
morfologie (erosiebestendigheid, herstel vegetatie)					
morfologie (erosiebestendigheid, herstel vegetatie)	1/1 per jaar	snellheid: 14,3 m/s richting: 270 °N stormverloop ⁴	-	-	IJsselmeerpeil -0,4 m+NAP
morfologie locaties 11 en 14: erosiebeschermende maatregelen (windgolven)	T100 jaar	snellheid: 19,1 m/s richting: 240°N	-	-	waterstand ⁸ +1,4 m+NAP [ref. W+B (2023a)]
morfologie: erosiebeschermende maatregelen (windgedreven stroming)	T100 jaar i.c.m. gemiddelde afvoer	snellheid: 18,4 m/s richting: 270°N stormverloop ⁴	386 m³/s	10 m³/s [ref. WVS (2017)]	IJsselmeerpeil -0,4 m+NAP
morfologie: erosiebeschermende maatregelen (stroming a.g.v. afvoer)	T100 jaar	-	2.040 m³/s [ref. Deltares (2017)]	419 m³/s [ref. Deltares (2017)]	IJsselmeerpeil -0,4 m+NAP

Scenario's ten behoeve van onderbouwing ontwerp Zuidelijke Randmeren (Eemmeer)

De scenario's ter onderbouwing van het ontwerp voor de Zuidelijke Randmeren zijn toegespitst op zoekgebieden 3 en 4, voor de zuidwestoever van het Eemmeer (zie tabel 3.8). Uit voorgaande fases weten we dat voor windgolven in het Eemmeer (lokale strijklengte Eemmeer) een andere windrichting maatgevend is dan voor opwaaiing en windgedreven stroming (kanteling Markermeer en Zuidelijke Randmeren). Voor windgolven een windrichting uit 90 °N maatgevend is (vanwege strijklengte, hoewel windsnelheden lager zijn dan voor westelijke richtingen) [ref. Witteveen+Bos (2023a)]. Voor windgedreven stroming zijn de windrichtingen 240 °N en 300 °N van belang (zie ook [ref. Witteveen+Bos (2023b)]).

De waterbeweging onder invloed van scheepvaart (scheepvaartgolven) wordt geanalyseerd op basis van expert judgement.

⁸ In de windmodellering wordt uitgegaan van een uniforme waterstand. Dit is conservatief voor lokale golfgroei.

Tabel 3.8 Scenario's ten behoeve van ontwerp KRW-maatregelen Eemmeer (zoekgebied 4)

Functie/aspect	Herhalingstijd/ overschrijdingskans	Storm/ wind [ref. W+B (2023a)], [ref. W+B (2023b)], [ref. Deltares (2017)]	Rivierafvoer Eem	Overige
mate van doorstroming en inschatting verblijftijd (wind en afvoer)	gemiddelde (zomer)condities	snelheid: 5,7 m/s (uniform), richting: 240 °N	4 m ³ /s [ref. W+B (2023a)]	-0,2 m+NAP (zomerpeil)
		snelheid: 5,7 m/s (uniform), richting: 300 °N		
morfologie: sedimentatie (vertragingsgebieden tijdens windgedreven stroming) erosiebestendigheid t.b.v. herstel vegetatie	1/1 per jaar storm i.c.m. gemiddelde afvoer	snelheid: 17,5 m/s richting: 240 °N stormverloop ⁹	4 m ³ /s [ref. W+B (2023a)]	-0,4 m+NAP (winterpeil)
		snelheid: 13,3 m/s richting: 300 °N stormverloop ⁹		
morfologie: erosiebeschermende maatregelen (windgolven)	T100 jaar	snelheid: 11,7 m/s richting: 90°N	-	waterstand ¹⁰ -0,29 m+NAP
morfologie: erosiebeschermende maatregelen (stroming)	T100 jaar storm i.c.m. extreme afvoer ¹¹	snelheid: 19,1 m/s richting: 240°N stormverloop ⁹	70 m ³ /s [ref. W+B (2005)]	-0,4 m+NAP (winterpeil)
		snelheid: 18,3 m/s richting: 300°N stormverloop ⁹		

⁹ Stormverloop Zuidelijke Randmeren: 9 uur - 4 uur piek - 9 uur, op basis van [ref. Deltares (2012)].

¹⁰ Een storm vanuit het oosten gaat gepaard met lage waterstanden in het Eemmeer vanwege afwaaiing. Aangezien waterstandsinformatie ontbreekt (zie [ref. Witteveen+Bos (2023a)]), is voor de golfmodellering van een oostenstorm een gemiddelde waterstand gehanteerd. Dit is een conservatief uitgangspunt voor de golfreductie van de rijshouten dammen.

¹¹ Nadere informatie ontbreekt over de afvoer van de Eem.

4

HYDRAULISCHE EN MORFOLOGISCHE EFFECTEN EEMMEER

4.1 Introductie

Dit hoofdstuk gaat in op de verwachte hydraulische en morfologische effecten die optreden bij de implementatie van de ontwerpvariant voor zoekgebied 4 in het Eemmeer. Paragraaf 4.2 gaat in op de effecten met betrekking tot hoogwaterveiligheid. Effecten op de zoetwaterbuffer komen aan bod in paragraaf 4.3. De mate van doorstroming wordt behandeld in paragraaf 4.4. Ten slotte komen de verwachte effecten op de vaarweg aan bod in paragraaf 4.5.

4.2 Effecten op hoogwaterveiligheid

Voor de effecten op hoogwaterveiligheid van de Zuidelijke Randmeren is het verlies aan komberging ingeschat met het verlies aan watervolume boven winterpeil (NAP -0,4 m). Dit is voor de verschillende zoekgebieden weergegeven in tabel 4.1. Alleen de moeraszone bevindt zich boven het winterpeil. Gemiddeld ligt de moeraszone op NAP -0,3 m.

De zuidelijke Randmeren hebben een oppervlak van totaal 4.095 ha, bestaande uit het Gooimeer met 2.575 ha, het Eemmeer met 1.251 ha en het Nijkerkernauw met 269 ha [ref. 18]. Wanneer alleen wordt uitgegaan van het kombergingsvolume van het Eemmeer, neemt het watervolume boven het winterpeil met minder dan 1 % af.

Hieruit blijkt dat de maatregelen een beperkt effect hebben op hoogwaterveiligheid, ook mede doordat de bovenzijde veelal niet hoger ligt dan het zomerpeil (NAP -0,2 m). Hier is geen criterium op van toepassing, omdat het overstroombare natuur betreft.

Tabel 4.1 Inschatting effecten op hoogwaterveiligheid Zuidelijke Randmeren

Zoekgebied	Lengte [m]	Breedte [m]	Oppervlak maatregel boven winterpeil [m ²]	Gemiddeld verlies aan waterdiepte boven winterpeil [m]	Verlies aan watervolume boven winterpeil [m ³]
Zuidelijke Randmeren zoekgebied 4 Eemmeer	1.500	230	105.000	0,15	16.000

4.3 Effecten op zoetwaterbuffer

Voor de effecten op de zoetwaterbuffer is het verlies ingeschat aan de hand van volume grond dat wordt aangebracht binnen de bandbreedte van het zomerpeil (NAP -0,1 m - NAP -0,3 m). De hoogteligging van het VKA bevindt zich binnen deze bandbreedte en leidt dus tot een afname van de zoetwaterbuffer. Dit is weergegeven in tabel 4.2. Hier is geen criterium op van toepassing, omdat het overstroombare natuur betreft. Ook het verlies aan zoetwaterbuffer is kleiner dan 1 %.

Tabel 4.2 Inschatting effecten op zoetwaterbuffer Zuidelijke Randmeren

Zoekgebied	Gemiddeld verlies aan watervolume binnen bandbreedte zomerpeil [m ³]
Zuidelijke Randmeren zoekgebied 4 Eemmeer	5.000 - 10.000

4.4 Mate van doorstroming

4.4.1 Inleiding

De mate van doorstroming rondom- en binnen de omtrek van de maatregel is bestudeerd voor twee gemiddelde situaties, gevolgd door de relevante afbeeldingen per scenario bestaande uit het stroombeeld en de verschillen ten opzichte van de referentiesituatie. De eigenschappen van de scenario's zijn samengevat in tabel 4.3. Gekozen is om een situatie met alleen zomerpeil te beschouwen, omdat situaties met weinig wind vooral in de zomer voorkomen.

Tabel 4.3 Overzicht van uitgevoerde simulaties ter beoordeling van de mate van doorstroming rondom- en binnen zoekgebied 4

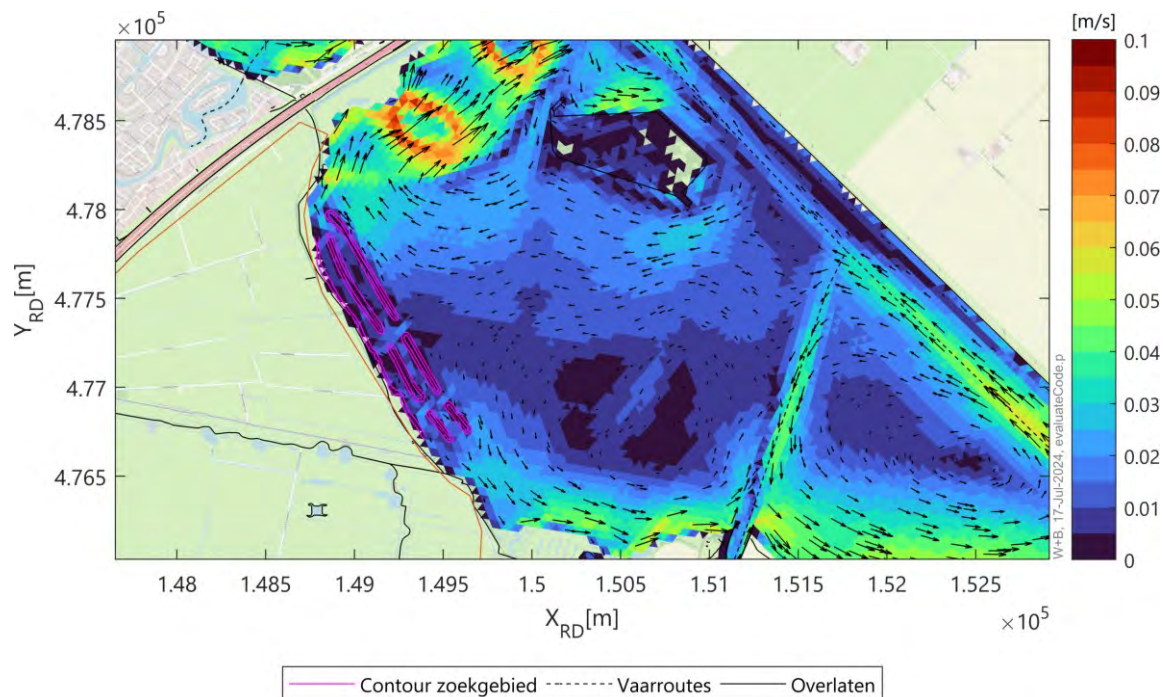
Scenario en statistiek	Storm/wind	Rivierafvoer Eem	Initiële waterstand	Betreffende afbeelding
[1] stroming Gemiddeld	5,7 m/s (uniform) richting 240° N	4 m ³ /s	-0,2 m NAP (zomerpeil)	afbeelding 4.1 (absoluut) afbeelding 4.2 (verschil)
[2] stroming Gemiddeld	5,7 m/s (uniform) richting 300° N	4 m ³ /s	-0,2 m NAP (zomerpeil)	afbeelding 4.3 (absoluut) afbeelding 4.4 (verschil)

4.4.2 Analyse

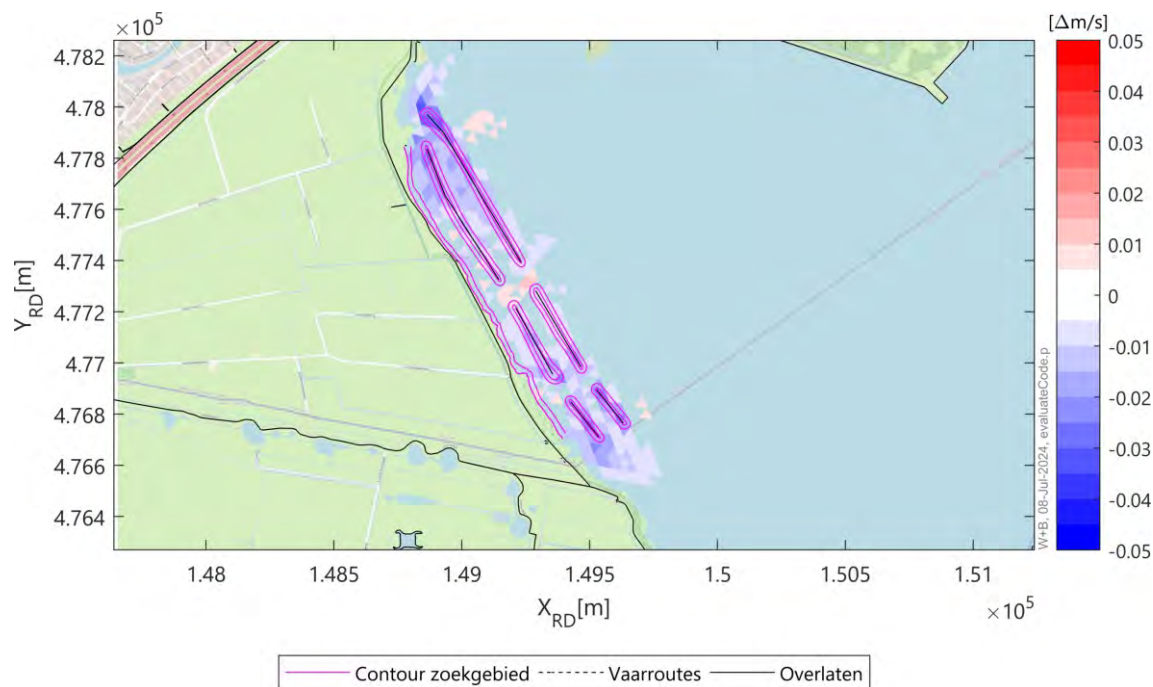
Voor beide scenario's geldt dat de verschillen in stroomsnelheid voornamelijk binnen de contouren van- en direct langs het zoekgebied optreden (afbeelding 4.1 - afbeelding 4.4). Het zoekgebied ligt in een stromingsluw gebied waarbinnen lokale stroomsnelheden optreden stroomsnelheden op tussen de 0,01 - 0,05 m/s. Door de plaatsing van de eilanden neemt de stroomsnelheid (vooral tussen de eilanden) af met enkele cm/s. Bij deze windcondities is de verblijftijd van het water tussen richels ingeschat op orde van grootte een halve dag tot 2 dagen.

Voor het eerste scenario zal de mate van doorstroming verder afnemen, waar deze in de referentiesituatie al beperkt is. Voor het tweede scenario neemt de mate van doorstroming ook af. Wel is te zien dat er nog steeds (beperkte) stroming optreedt (orde 0,05 m/s) tussen de eilanden die ook die de oriëntatie van de eilanden volgt. Dit is gunstig ten behoeve van de verversing van het water binnen het zoekgebied. Bij deze windcondities is de verblijftijd ingeschat op orde van grootte een halve dag.

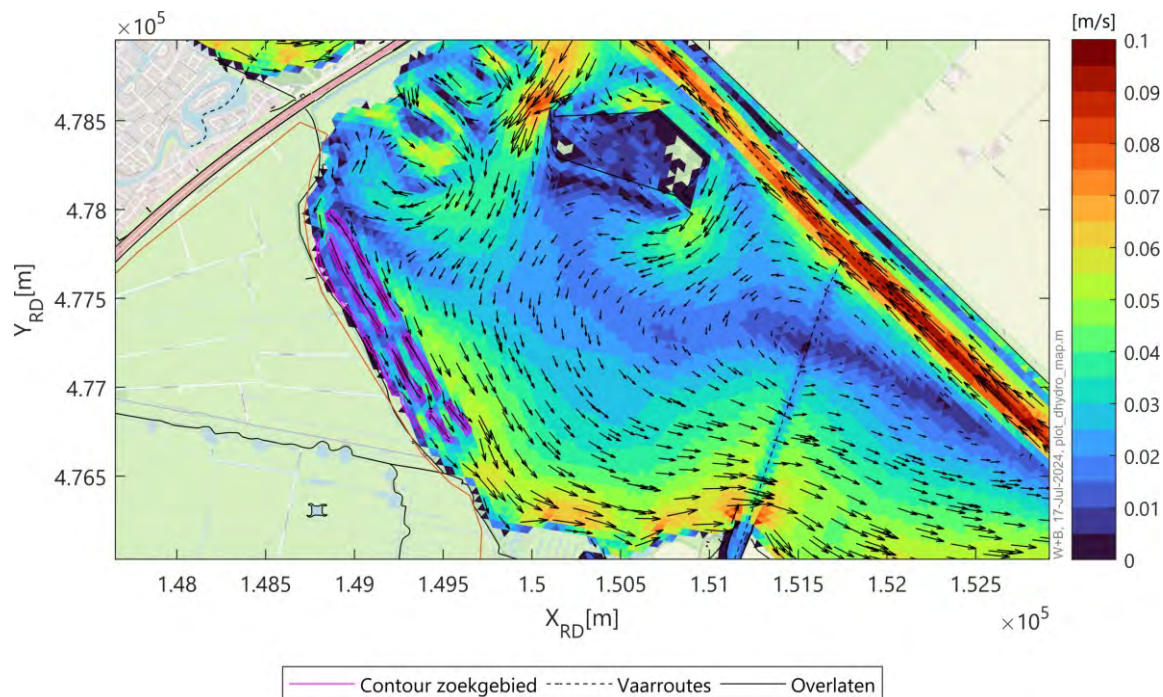
Afbeelding 4.1 Stroombeeld rondom zoekgebied 4 onder gemiddelde zomercondities (wind: DIR 240N, 5,7 m/s)



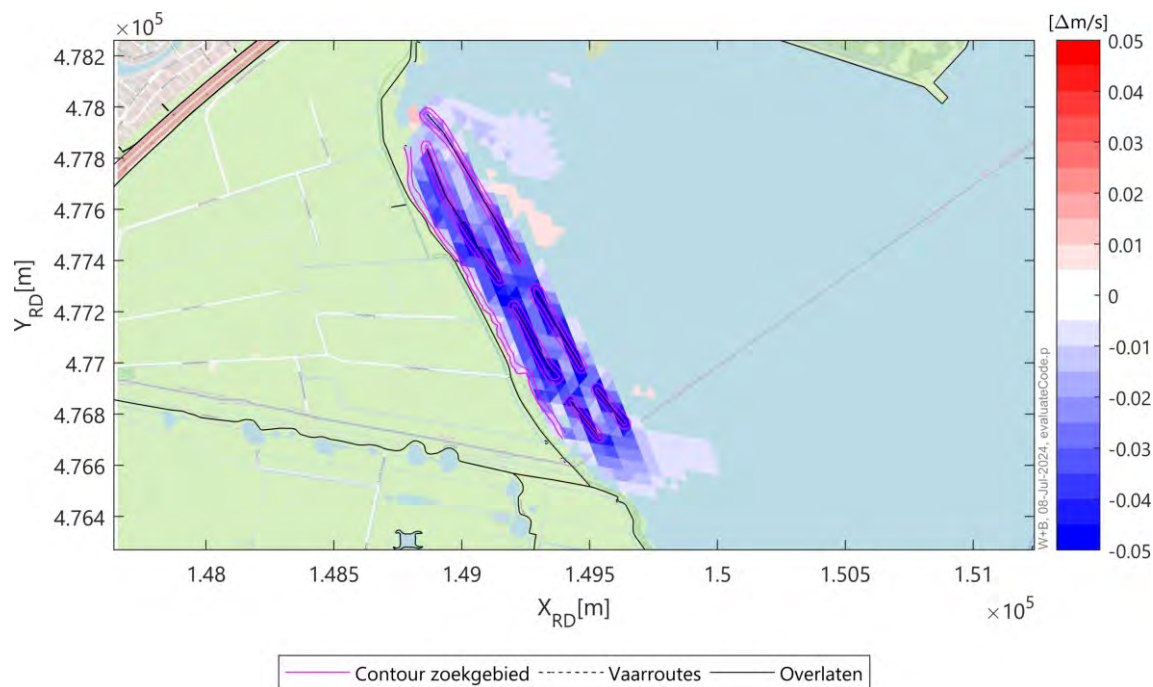
Afbeelding 4.2 Verschil in stroomsnelheidsmagnitude ten opzichte van de referentie ter plaatse van zoekgebied 4 onder gemiddelde zomercondities (wind: DIR 240N, 5,7 m/s)



Afbeelding 4.3 Stroombeeld rondom zoekgebied 4 onder gemiddelde zomercondities (wind: DIR 300N, 5,7 m/s)



Afbeelding 4.4 Verschil in stroomsnelheidsmagnitude ten opzichte van de referentie ter plaatse van zoekgebied 4 onder gemiddelde zomercondities (wind: DIR 300N, 5,7 m/s)



4.5 Effecten op vaarweg

4.5.1 Inleiding

Voor het beoordelen van de hydrodynamische effecten op de vaarweg is een drietal scenario's beoordeeld, die betrekking hebben op zowel de stroming als de windgolven. De scenario's zijn samengevat in tabel 4.4 en komen in de hiernavolgende paragrafen aan bod. Voor windgedreven stroming en opwaaiing (kanteling Markermeer en Zuidelijke Randmeren zijn de windrichtingen 240 °N en 300 °N van belang [ref. Witteveen+Bos (2023b)]. Voor windgolven is een windrichting uit 90 °N maatgevend voor dit zoekgebied vanwege de strijklengte (hoewel de windsnelheden lager zijn dan voor westelijke richtingen).

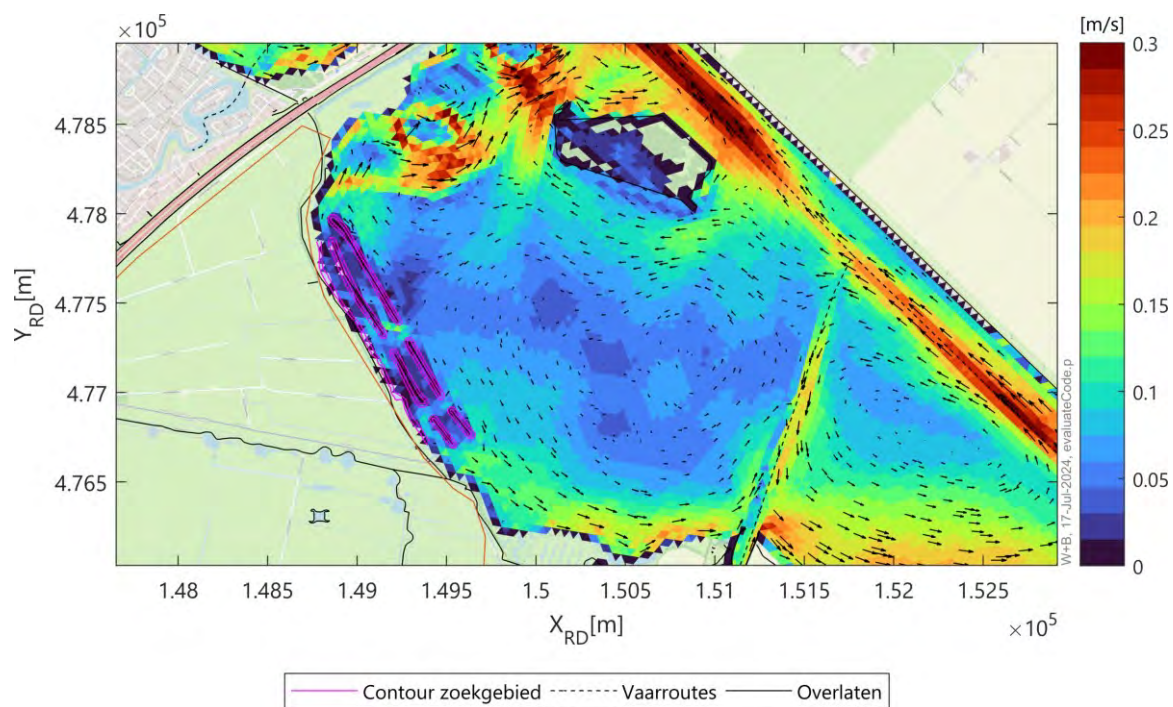
Tabel 4.4 Overzicht van uitgevoerde simulaties ter beoordeling van de effecten op de vaarweg rondom- en binnen zoekgebied 4

Scenario en Statistiek	Storm/wind	Rivierafvoer Eem	Initiële Waterstand	Betreffende afbeelding
[1] Stroming 1/1 per jaar storm i.c.m. gemiddelde afvoer	17,5 m/s verloop (9 uur - 4 uur piek - 9 uur) richting 240 N	4 m ³ /s	-0,4 m NAP (winterpeil)	afbeelding 4.5 (absoluut) afbeelding 4.6 (verschil)
[2] Stroming 1/1 per jaar storm i.c.m. gemiddelde afvoer	13,3 m/s verloop (9 uur - 4 uur piek - 9 uur) richting 300 N	4 m ³ /s	-0,4 m NAP (winterpeil)	afbeelding 4.7 (absoluut) afbeelding 4.8 (verschil)
[3] Windgolven T100 jaar	11,7 m/s (uniform) richting 90 N	-	+1,4 m NAP	afbeelding 4.9 (absoluut) afbeelding 4.10 (verschil)

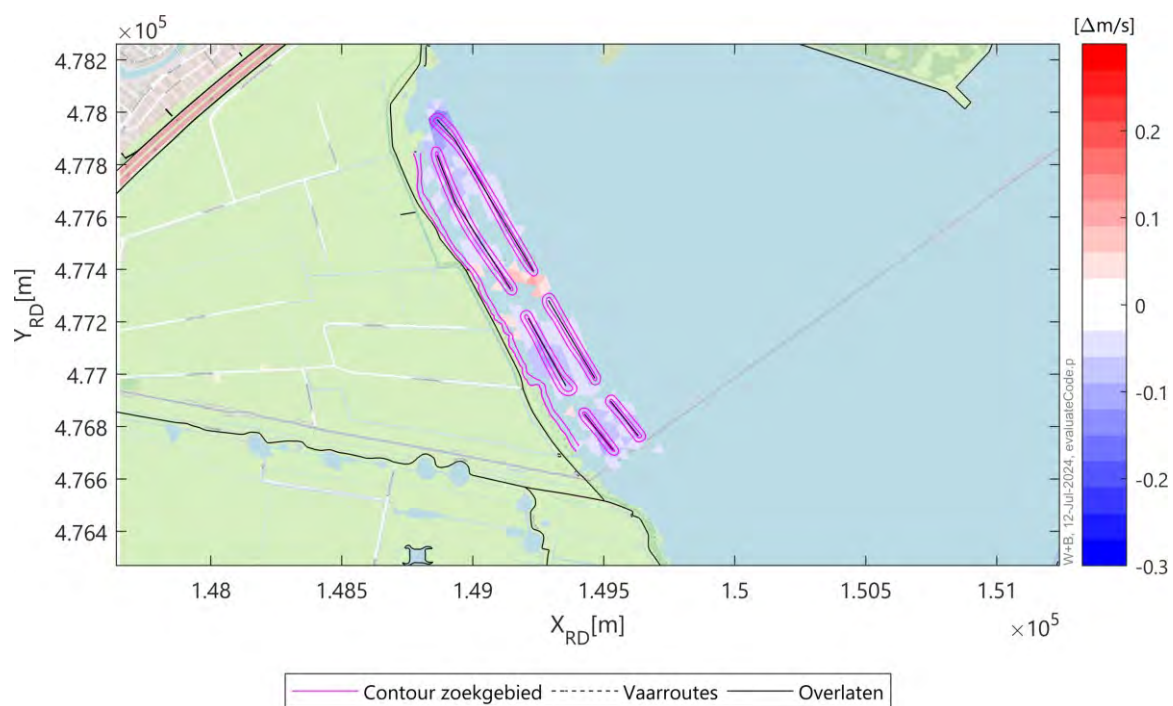
4.5.2 Stroombeeld in de vaarweg

De scenario's met betrekking tot stromingscondities laten zien dat effecten op de stroomsnelheid enkel lokaal merkbaar zijn (afbeelding 4.5 - afbeelding 4.8). De verandering van het stroombeeld op de vaarweg die optreedt ten gevolge van de ontwikkeling van zoekgebied 4 is verwaarloosbaar klein. Veranderingen in stroombeeld worden enkel in de directe omgeving van de zoekgebieden waargenomen.

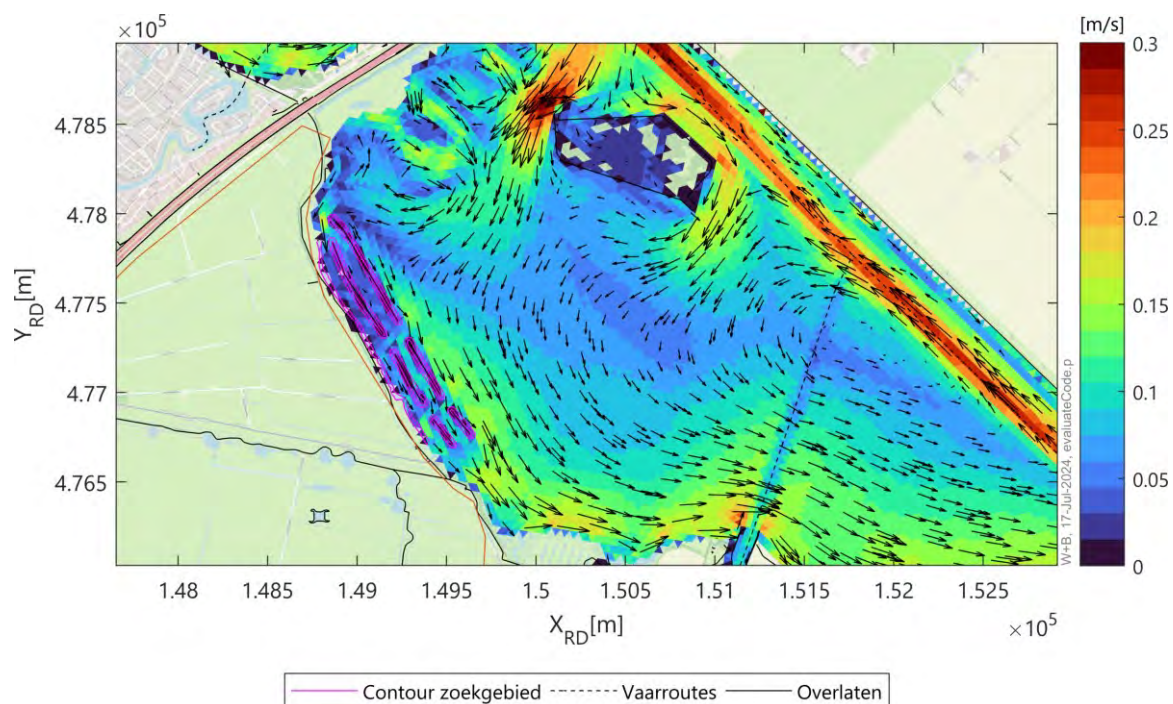
Afbeelding 4.5 Maximaal stroombeeld rondom zoekgebied 4 bij een Eemafvoer van $4 \text{ m}^3/\text{s}$, een stormverloop naar $17,5 \text{ m/s}$ (DIR 240N), en een Markermeerpeil van NAP -0,4 m



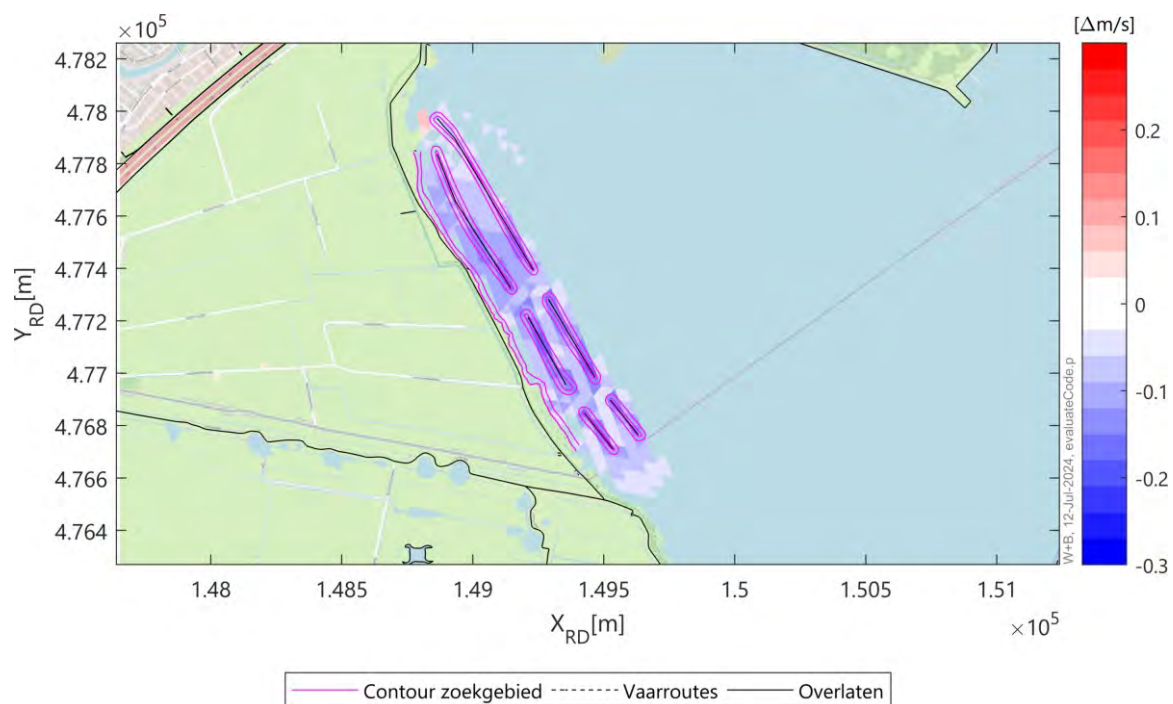
Afbeelding 4.6 Verschil in maximaal stroombeeld rondom zoekgebied 4 ten opzichte van de referentie bij een Eemafvoer van $4 \text{ m}^3/\text{s}$, een stormverloop naar $17,5 \text{ m/s}$ (DIR 240N), en een Markermeerpeil van NAP -0,4 m



Afbeelding 4.7 Maximaal stroombeeld rondom zoekgebied 4 bij een Eemafvoer van $4 \text{ m}^3/\text{s}$, een stormverloop naar $13,3 \text{ m/s}$ (DIR 300N), en een Markermeerpeil van NAP $-0,4 \text{ m}$



Afbeelding 4.8 Verschil in maximaal stroombeeld rondom zoekgebied 4 ten opzichte van de referentie bij een Eemafvoer van $4 \text{ m}^3/\text{s}$, een stormverloop naar $13,3 \text{ m/s}$ (DIR 300N), en een Markermeerpeil van NAP $-0,4 \text{ m}$

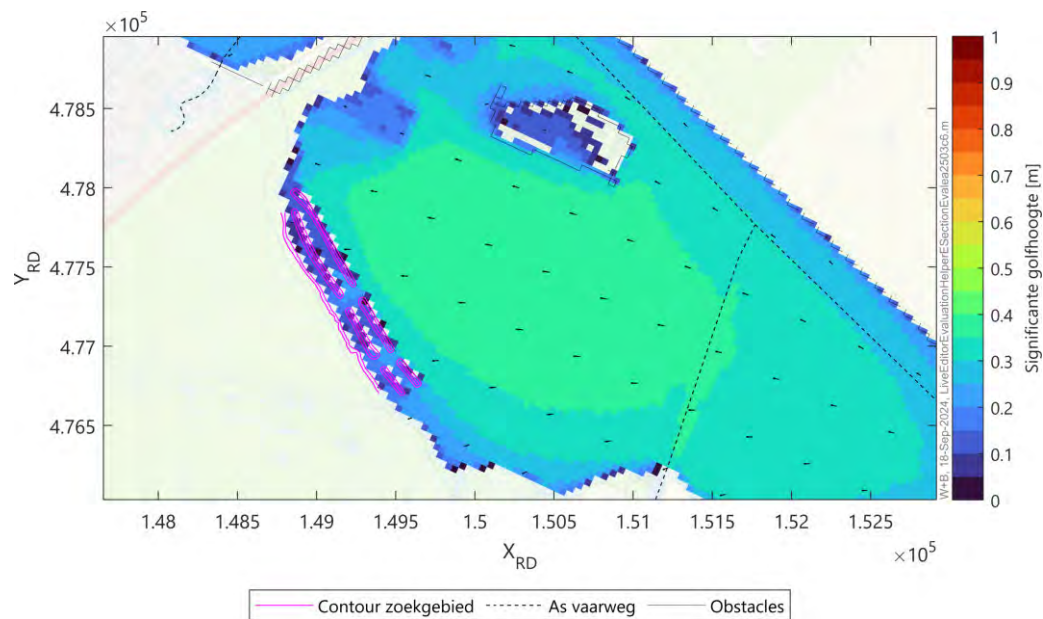


4.5.3 Effecten op windgolven

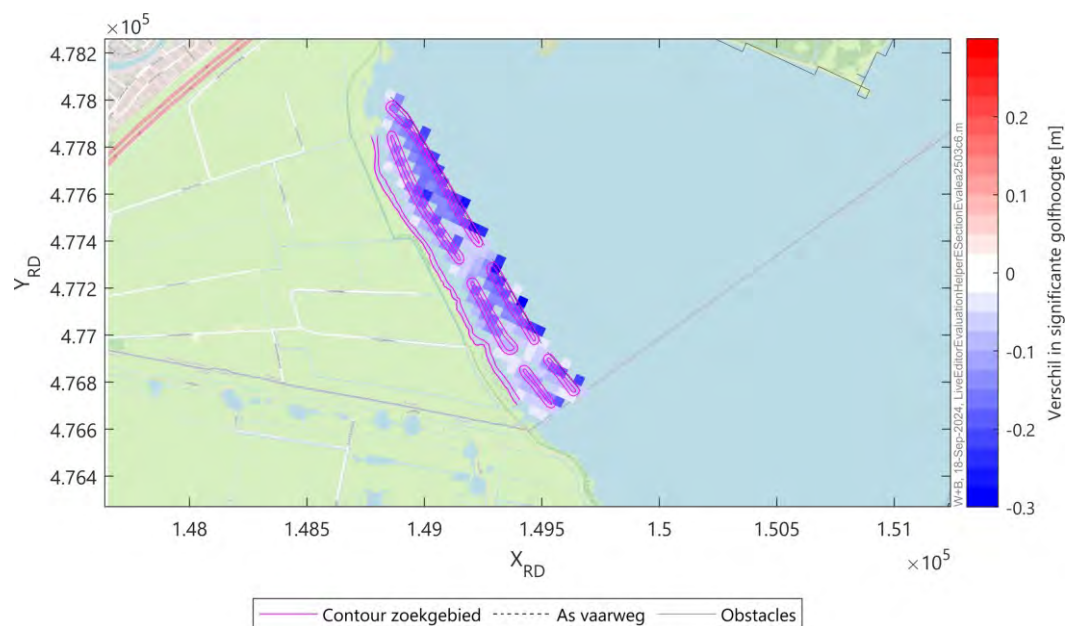
Bij wind uit het Oosten treedt enkel in de directe omgeving van zoekgebied 4 een verandering in de golfcondities op. Met name de buitenste rij (noordoostelijke) eilanden, in combinatie met de daarvoor liggende rijshouten dam, zorgen voor de meeste reductie van de lokale significante golfhoogte. Lokaal wordt de significante golfhoogte gereduceerd met maximaal 30 cm. Binnen de omtrek van het zoekgebied bedraagt de significante golfhoogte nog 10 - 20 cm.

De golfdemping die wordt bereikt met de rijshoutdammen is naar verwachting voldoende om de stabiliteit van de eilanden en oevers te garanderen.

Afbeelding 4.9 Golfveld (significante golfhoogte) bij een uniform windveld van 11,7 m/s vanuit het Oosten (DIR 90N) en een lokale waterstand van NAP -0,29 m



Afbeelding 4.10 Verschil in significante golfhoogte ten opzichte van de referentie bij een uniform windveld van 11,7 m/s vanuit het Oosten (DIR 90N) en een lokale waterstand van NAP -0,29 m



4.5.4 Inschatting morfologische effecten

De besproken veranderingen in stroombeeld en golfcondities tonen aan dat de effecten ten gevolge van zoekgebied 4 lokaal optreden. Verder af van het zoekgebied, en dus ook in de vaarweg, treden geen merkbare morfologische veranderingen op.

Ter plaatse van het zoekgebied ontstaat meer stromingsluwte dan in de referentiesituatie. Echter is de verwachting dat de lokale sedimenttransportcapaciteit dermate laag is dat er ook binnen het zoekgebied geen grootschalige morfologische effecten worden verwacht.

Enkel langs de randen van de noordoostelijke eilanden kan lokale erosie van de oevers optreden door golfafslag. Echter wordt de golfenergie die de oevers bereikt beperkt door de rijshouten dammen en zijn de oevers beplant met riet, wat de erosiebestendigheid van de oevers vergroot. In de eerste jaren na aanleg, wanneer het riet nog moet ontwikkelen, wordt geadviseerd de stabiliteit van de eilanden te monitoren.

5

HYDRAULISCHE EN MORFOLOGISCHE EFFECTEN KETELMEER

5.1 Introductie

Dit hoofdstuk gaat in op de verwachte hydraulische en morfologische effecten die optreden bij de implementatie van de ontwerpvariant voor zoekgebied 11 in het Ketelmeer. Paragraaf 5.2 gaat in op de effecten met betrekking tot hoogwaterveiligheid. Hinder of schade door hydraulische effecten komt aan bod in paragraaf 5.3. Hieronder vallen: het stroombeeld in de vaarweg, de mate van doorstroming en effecten op de zoetwaterbuffer. De morfologische effecten worden behandeld in paragraaf 5.4.

5.2 Hoogwaterveiligheid

5.2.1 Inleiding

Ten behoeven van de beoordeling van de effecten op de hoogwaterveiligheid is een tweetal scenario's uitgevoerd (tabel 5.1). Het eerste scenario betreft een stromingsmodel met een extreem zware storm (T1.000 jaar) en een gemiddelde rivierafvoer, waarbij de Ramspol niet sluit. Het tweede scenario betreft een golfmodel waarin een extreme storm (T100) in combinatie met een lokale waterstand van NAP +1,4 m is doorgerekend. Uit [ref Rijkswaterstaat (2023)] blijkt dat voor zoekgebied 11 voor hoogwaterveiligheid de maatgevende situatie bestaat uit een windgedomineerde situatie met een storm uit het west-noordwesten. Het meerpeil is laag en (verhoogde) rivierafvoeren zijn voor de lokale waterstand niet van belang.

Tabel 5.1 Overzicht van uitgevoerde simulaties ter beoordeling van de effecten op de hoogwaterveiligheid ten gevolge van het ontwerp voor zoekgebied 11 in het Ketelmeer

Scenario en Statistiek	Storm/wind	Rivierafvoer	Initiële Waterstand	Betreffende afbeelding
[1] Stroming T1.000 jaar (storm) i.c.m. gemiddelde afvoer Ramspolkering open	32 m/s verloop (23 uur - 2 uur piek - 23 uur) richting 292,5 N	300 m ³ /s IJssel 55 m ³ /s Vecht	NAP -0,25 m IJsselmeerpeil	afbeelding 5.1 (absoluut) afbeelding 5.2 (verschil)
[2] Windgolven T100 jaar	19,1 m/s (uniform) richting 240 N	-	NAP +1,4 m	afbeelding 5.3 (absoluut) afbeelding 5.4 (verschil)

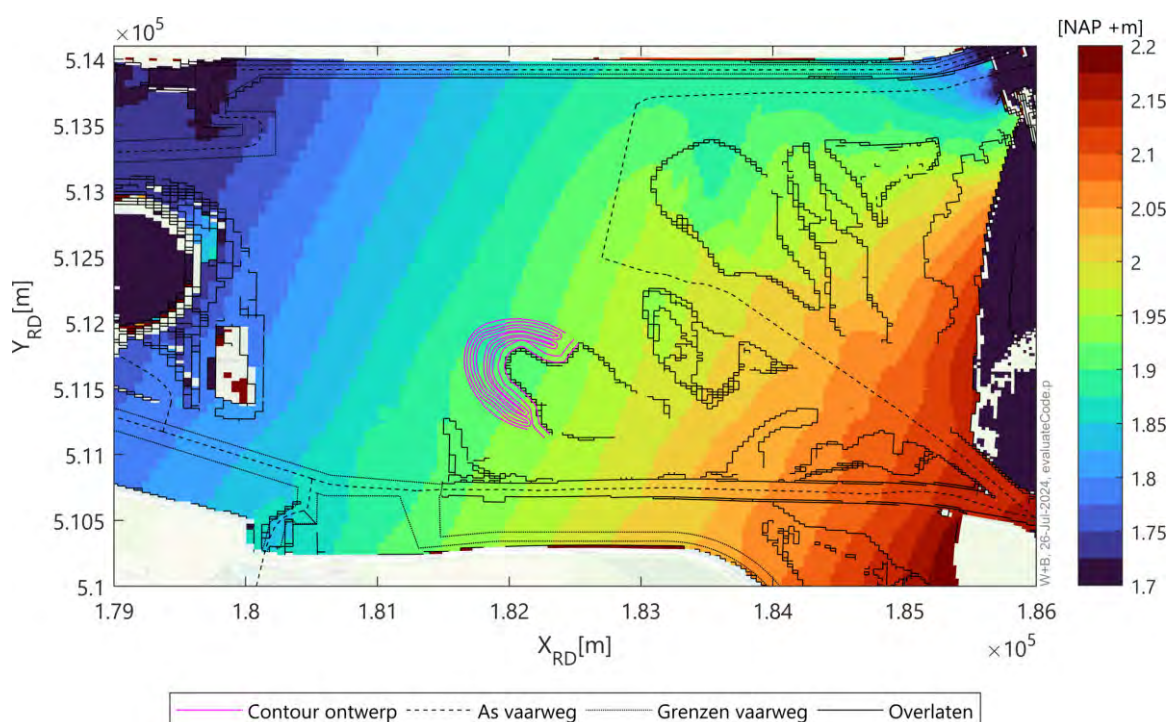
5.2.2 Hoogwaterveiligheid - waterstandseffecten op de as van de rivier en nabij de primaire keringen

Ter hoogte van zoekgebied 11 treden ten gevolge van het extreem zware stormscenario maximale, lokale waterstanden op van NAP +1,90 m tot NAP +1,95 m (afbeelding 5.1). De ontwerpvariant leidt lokaal tot een

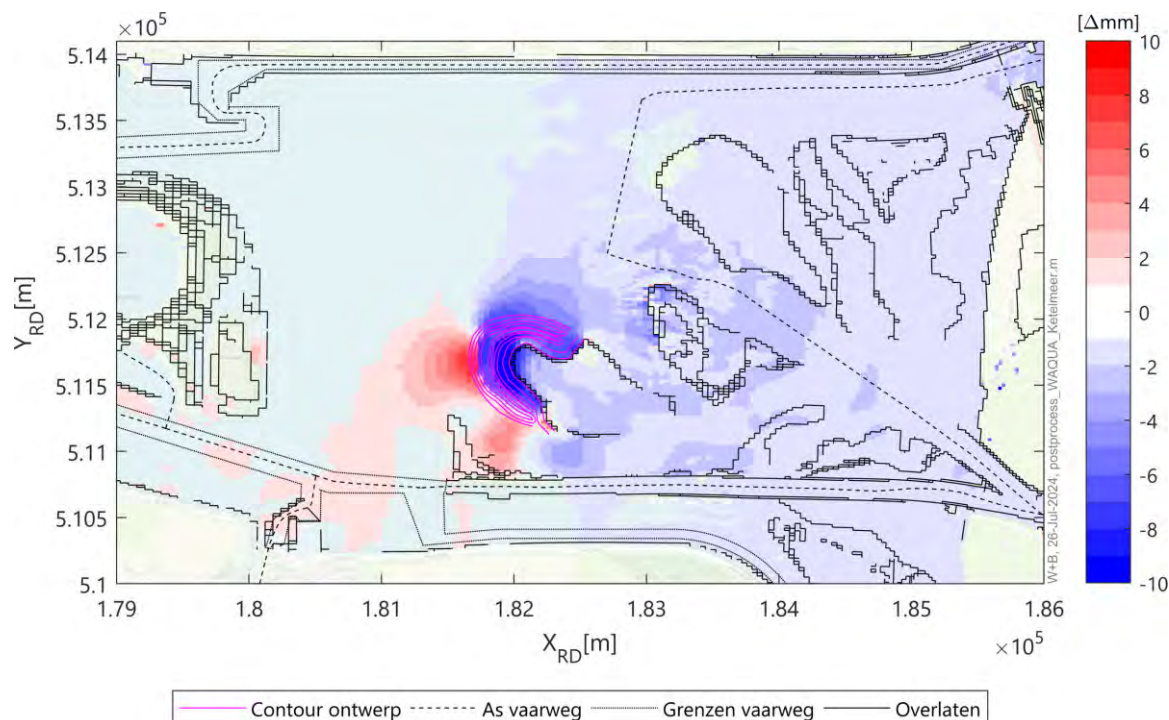
toename van de maximale waterstand tot 10 mm direct ten westen van het zoekgebied. Over een afstand van enkele honderden meters langs de zuidelijke waterkering (dijktraject 8-4) treedt een lokale toename in de maximale waterstand op van hoogstens 2 mm. Hierover moet afstemming plaatsvinden met de beheerder van de kering. Direct ter plaatse van het zoekgebied is de afname in maximale waterstand ongeveer 10 mm.

In het deel van het Ketelmeer ten oosten en ten noorden van het zoekgebied neemt de waterstand ook af ten gevolge van het ontwerp voor zoekgebied 11. Deze afname is langs de westelijke zijde van het Kampereiland (dijktraject 225) en aan de waterkering aan de noordzijde van het Ketelmeer (dijktraject 7-2) maximaal 2 mm. De afname in maximale waterstand is ook merkbaar op de IJssel, waar de afname in maximale waterstand ook hooguit 2 mm bedraagt. Het is duidelijk dat - ondanks de maximale waterstand met maximaal 2 mm toeneemt langs de zuidelijke kering - de ontwerpvariant leidt tot een afname van de maximale waterstand langs een aanzienlijk deel van het Ketelmeer en op de IJssel.

Afbeelding 5.1 Maximale waterstandsveld rondom zoekgebied 11 bij een IJsselafvoer van 300 m³/s, een Vechtafvoer van 55 m³/s, een IJsselmeerpeil van NAP -0,25 m en een windverloop naar 32 m/s (DIR 292,5N)



Afbeelding 5.2 Verschil in het maximale waterstandsveld rondom zoekgebied 11 ten opzichte van de referentie bij een IJsselafvoer van 300 m³/s, een Vechtafvoer van 55 m³/s, een IJsselmeerpeil van NAP -0,25 m en een windverloop naar 32 m/s (DIR 292,5N)

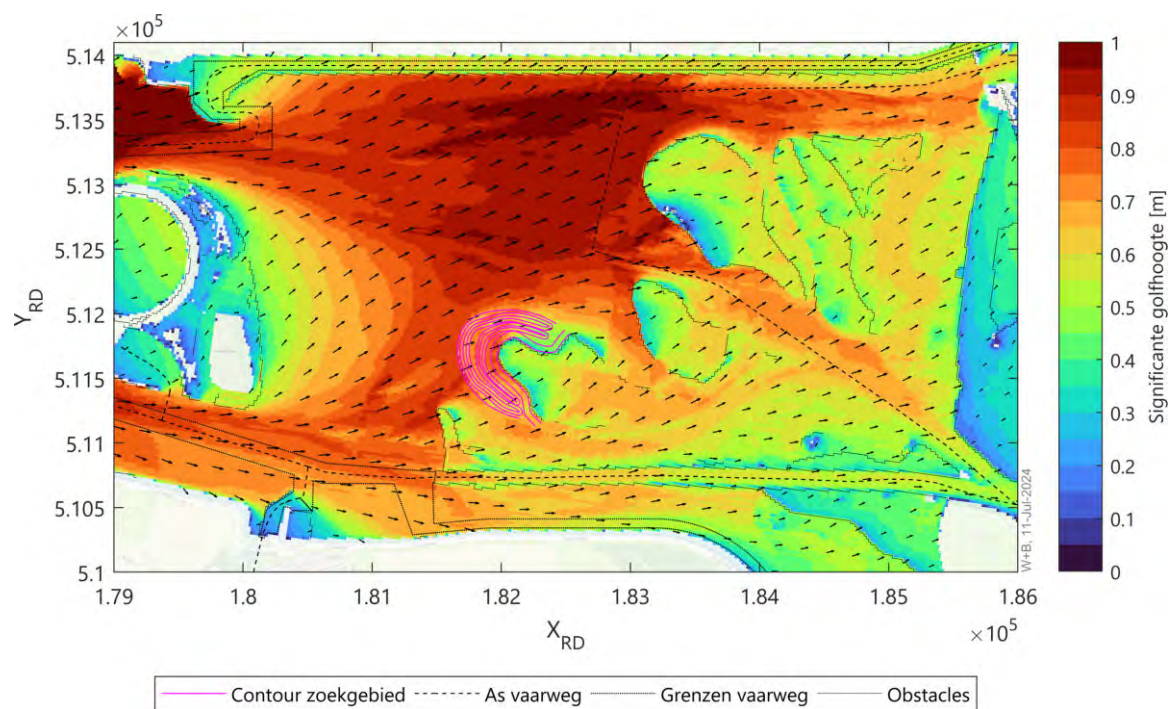


5.2.3 Hoogwaterveiligheid - inschatting effecten op hydraulisch belastingniveau

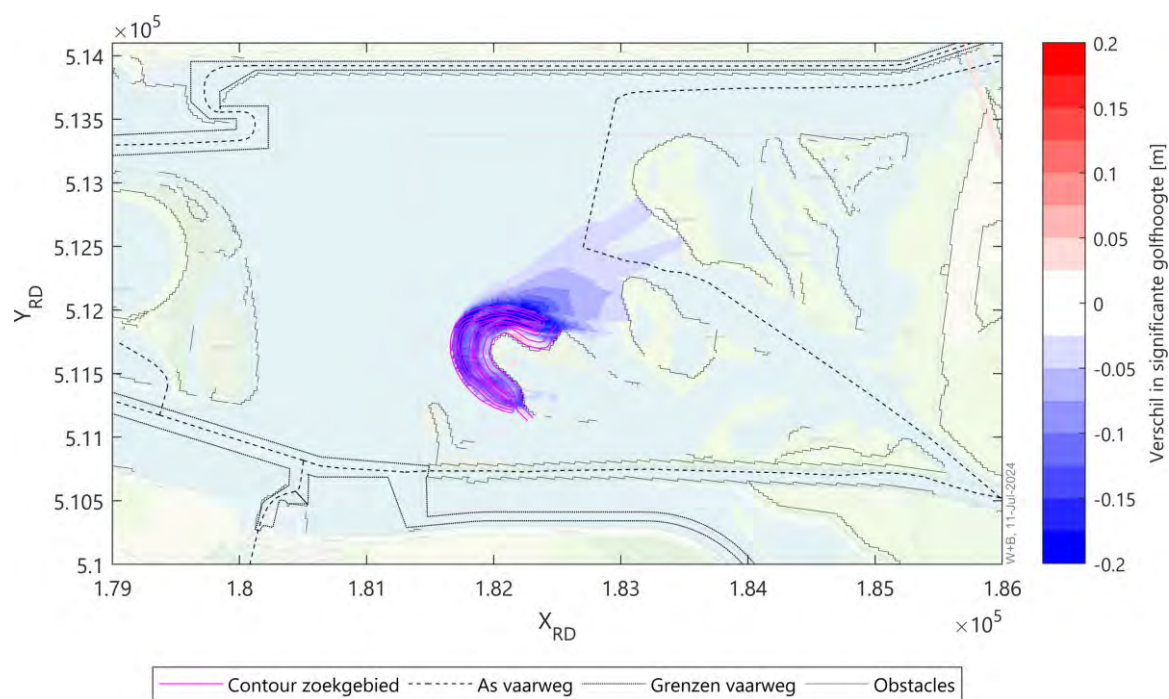
Het gemodelleerde scenario toont een significante golfhoogte van 0,7 - 0,8 m langs de westzijde van het zoekgebied. De golven komen vooral uit het zuidwesten (afbeelding 5.3). Door de hoge waterstand zal een deel van de golven over de rijshouten dam en de eilanden heen propageren. De ontwerpvariant voor zoekgebied 11 zorgt voor een blokkade voor deze golven, waardoor een vergrote schaduwzone ontstaat aan de noordoostzijde van het zoekgebied. Het ontwerp zal voor het beschouwde extreme scenario leiden tot een afname in golfhoogte van maximaal 0,1 - 0,2 m aan de achterzijde van het zoekgebied, relatief aan de golfrichting.

Naast een beperkte toename in maximale waterstand langs de dijktraject 8-4 (afbeelding 5.2), leidt het ontwerp van de maatregel leidt niet tot een toename van het hydraulisch belastingniveau op de omliggende keringen. De maatregel heeft juist een dempend effect op de golven op het Ketelmeer.

Afbeelding 5.3 Golfveld (significante golfhoogte) bij een uniform windveld van 19,1 m/s (DIR 240N) en een lokale waterstand van NAP +1,4 m



Afbeelding 5.4 Verschil in significante golfhoogte bij een uniform windveld van 19,1 m/s (DIR 240N) en een lokale waterstand van NAP +1,4 m



5.3 Hinder of schade door hydraulische effecten

5.3.1 Inleiding

Om te beoordelen of er hinder of schade door hydraulische effecten optreedt ten gevolge het ontwerp voor zoekgebied 11, is een drietal scenario's doorerekend (tabel 5.2). Het betreffen alle drie situaties waarbij het stromingsmodel is toegepast. In het eerste en tweede scenario wordt een hoge afvoercombinatie beschouwd (T10 en T100). In de derde en vierde simulatie worden respectievelijk een zware storm (T10) en gemiddelde zomercondities doorerekend. Voor scheepvaart zijn vooral twee T10 jaar scenario's van belang waarbij de buitendijkse gebieden nog niet overstromen, maar die duidelijk van elkaar verschillen: afvoerdominantie versus stormdominantie. Verder is ter aanvulling ook een T100 jaar afvoergedomineerde situatie beschouwd (tweede scenario). De laagdynamische situatie met gemiddelde zomercondities is gebruikt om de mate van doorstroming te beoordelen.

Tabel 5.2 Overzicht van uitgevoerde simulaties ter beoordeling van hinder of schade door hydraulische effecten ten gevolge van het ontwerp voor zoekgebied 11 in het Ketelmeer

Scenario en Statistiek	Storm/wind	Rivierafvoer	Initiële waterstand	(Maximale) waterstand ter hoogte van zoekgebied 11	Betreffende afbeelding
[1] Stroming T10 jaar	-	1.329 m ³ /s IJssel 299 m ³ /s Vecht	-0,1 m NAP IJsselmeerpeil	+0,02 m NAP	afbeelding 5.5 (absoluut) afbeelding 5.6 (verschil)
[2] Stroming T100 jaar	-	2.040 m ³ /s IJssel 419 m ³ /s [ref. Deltares (2017)]	-0,4 m NAP IJsselmeerpeil	-0,1 m NAP	afbeelding 5.7 (absoluut) afbeelding 5.8 (verschil)
[3] Stroming T10 jaar	24 m/s verloop (23 uur - 2 uur piek - 23 uur) richting 270 N	280 m ³ /s IJssel 50 m ³ /s Vecht	-0,1 m NAP IJsselmeerpeil	+0,9 m NAP	afbeelding 5.9 (absoluut) afbeelding 5.10 (verschil) afbeelding 5.11 (verschil)
[4] Stroming Gemiddelde zomercondities	5,7 m/s (uniform) richting 240 N	314 m ³ /s IJssel 10 m ³ /s Vecht	-0,2 m NAP IJsselmeerpeil	+0,85 m NAP	afbeelding 5.12 (absoluut) afbeelding 5.13 (verschil)

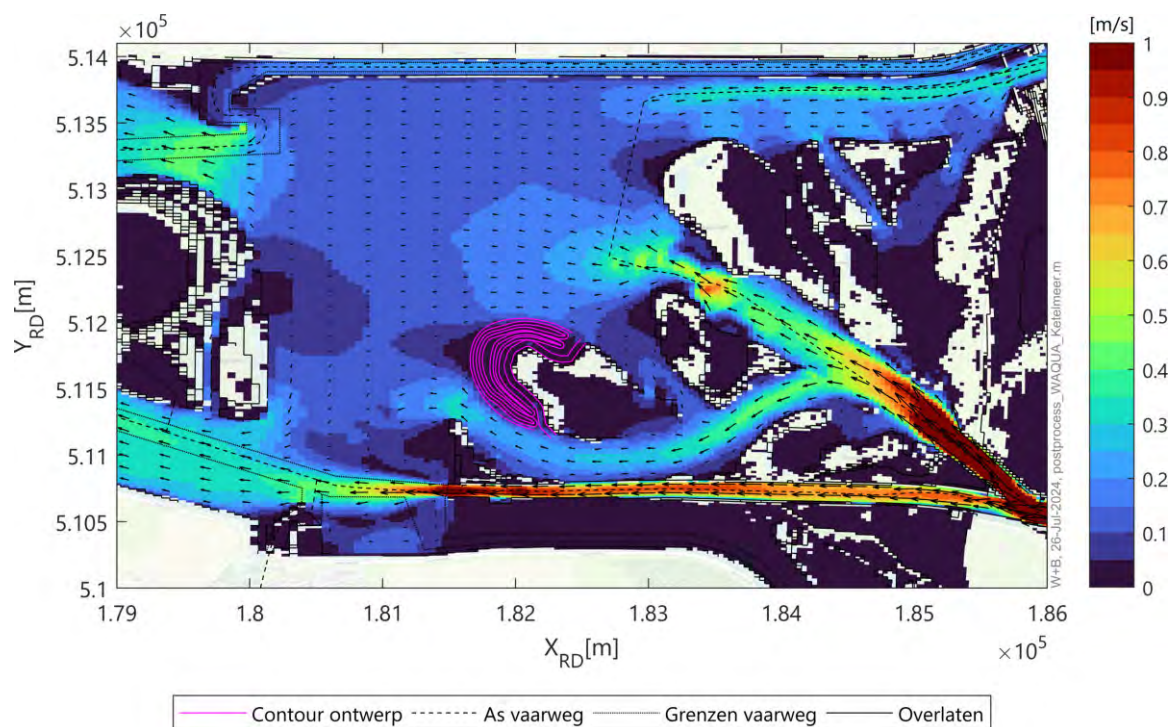
5.3.2 Stroombeeld in vaarweg

Stroming tijdens hoge afvoer

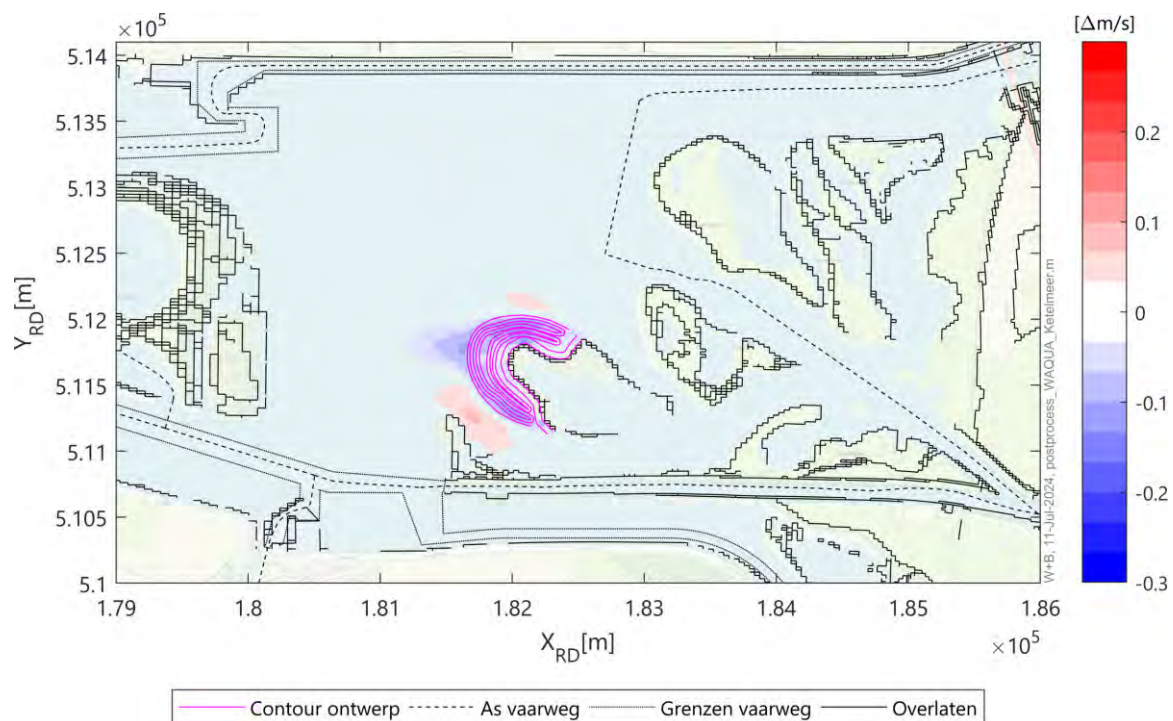
Tijdens het scenario met de hoge afvoercombinatie, stroomt het water vanuit de IJssel via drie takken het Ketelmeer in (afbeelding 5.5). Met name de middelste, en noordelijke tak dragen bij aan het stroombeeld rondom het zoekgebied. Voor deze situatie ligt het ontwerp in een stromingsluw gebied. Hierdoor is de invloed van het ontwerp op de lokale stromingscondities beperkt. Enkel direct rondom het zoekgebied veranderen de maximale stroomsnelheden met uiterlijk 0,1 m/s (afbeelding 5.6). Deze veranderingen interferen niet met de vaarwegen, waar de effecten op de vaarwegen verwaarloosbaar zijn voor dit scenario.

Voor het scenario met enkel een hoge IJssel- en Vechtafvoer (afbeelding 5.7, afbeelding 5.8), treden vergelijkbare effecten op als voor de andere onderzochte scenario's. Veranderingen in stroombeeld worden voornamelijk in de nabijheid van het zoekgebied waargenomen, met een versnelling aan de noord- en zuidkant, en een vertraging aan de westkant van het zoekgebied.

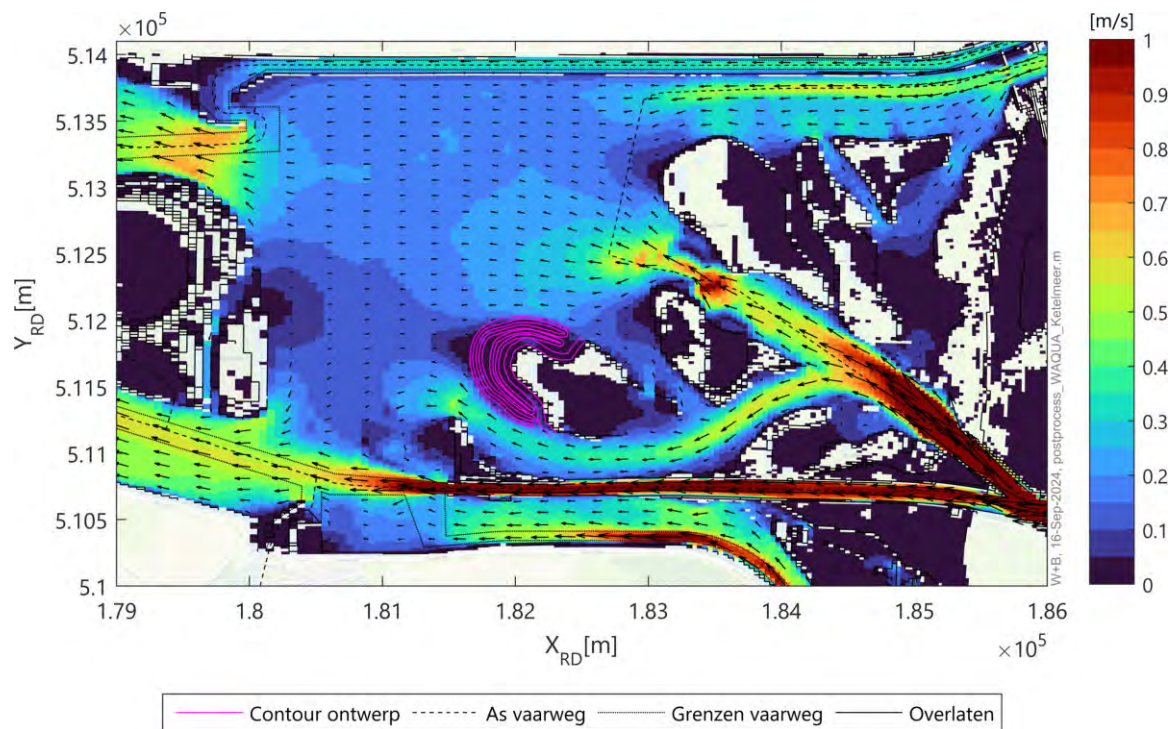
Afbeelding 5.5 Maximaal stroombeeld rondom zoekgebied 11 bij een IJsselafvoer van $1.329 \text{ m}^3/\text{s}$, een Vechtafvoer van $299 \text{ m}^3/\text{s}$ en een IJsselmeerpeil van NAP -0,1 m, zonder windforcering en een open Ramspolkering



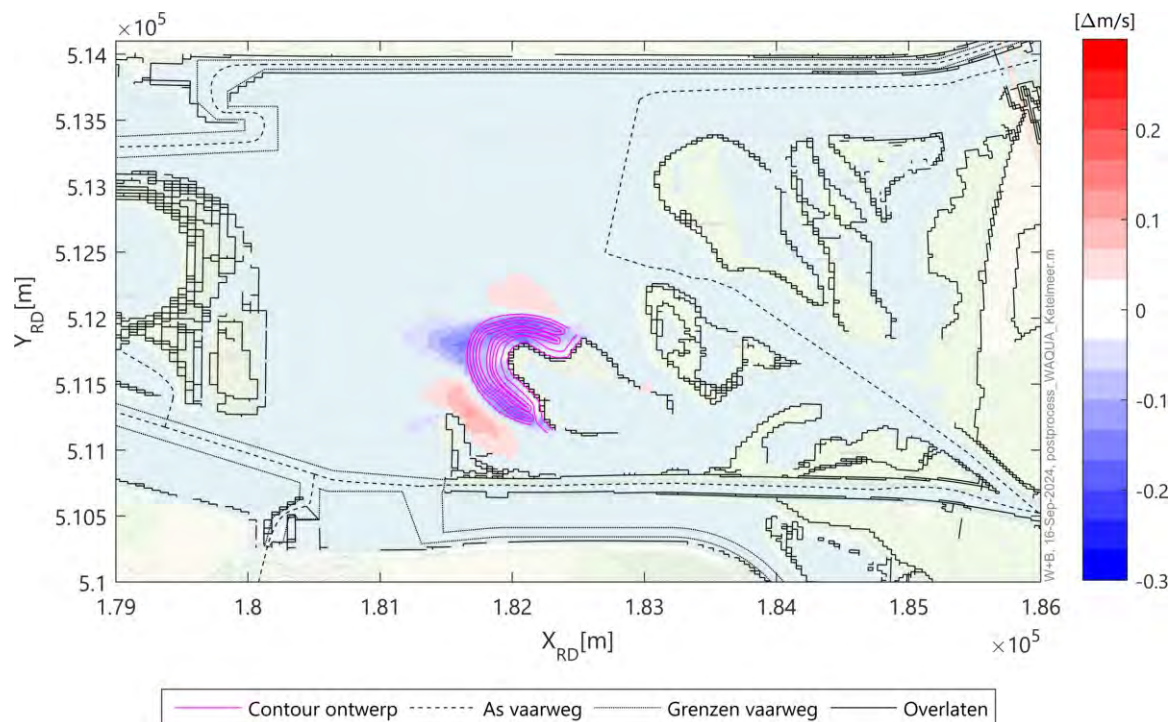
Afbeelding 5.6 Verschil in maximaal stroombeeld rondom zoekgebied 11 ten opzichte van de referentie bij een IJsselafvoer van $1.329 \text{ m}^3/\text{s}$, een Vechtafvoer van $299 \text{ m}^3/\text{s}$ en een IJsselmeerpeil van NAP -0,1 m, zonder windforcering en een open Ramspolkering



Afbeelding 5.7 Maximaal stroombeeld rondom zoekgebied 11 bij een IJsselafvoer van 2040 m³/s, een Vechtafvoer van 419 m³/s en een IJsselmeerpeil van NAP -0,4 m, zonder windforcering



Afbeelding 5.8 Verschil in maximaal stroombeeld rondom zoekgebied 11 bij een IJsselafvoer van 2040 m³/s, een Vechtafvoer van 419 m³/s en een IJsselmeerpeil van NAP -0,4 m, zonder windforcering

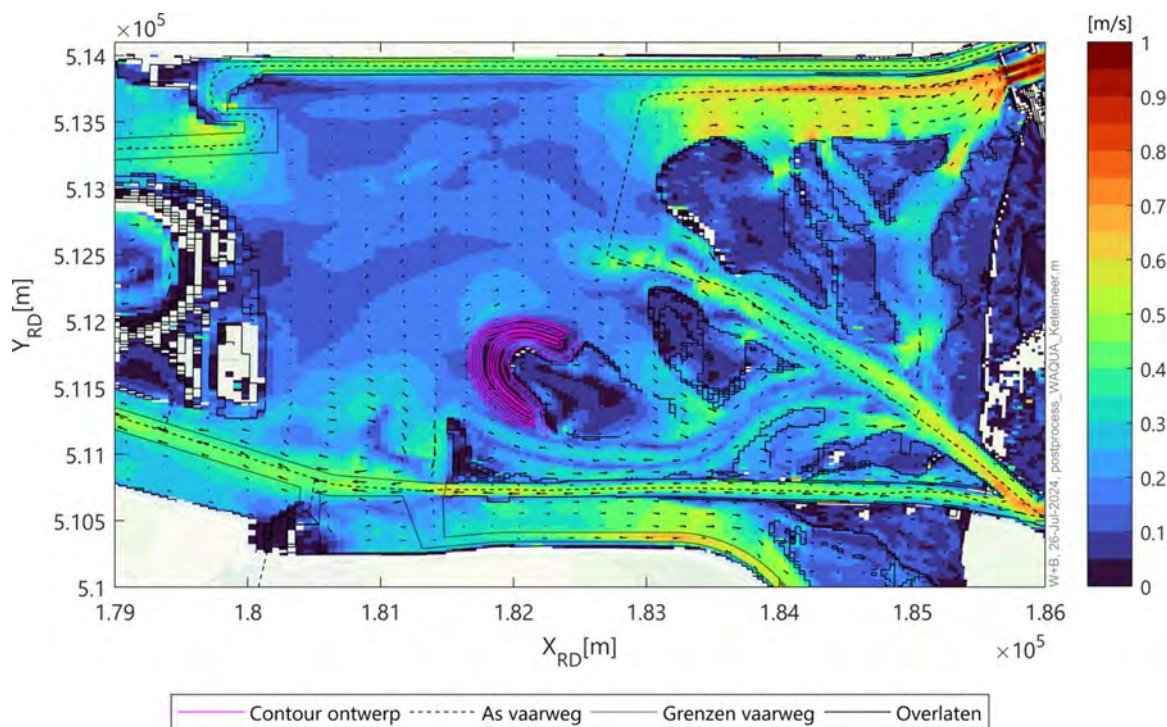


Stroming tijdens stormcondities

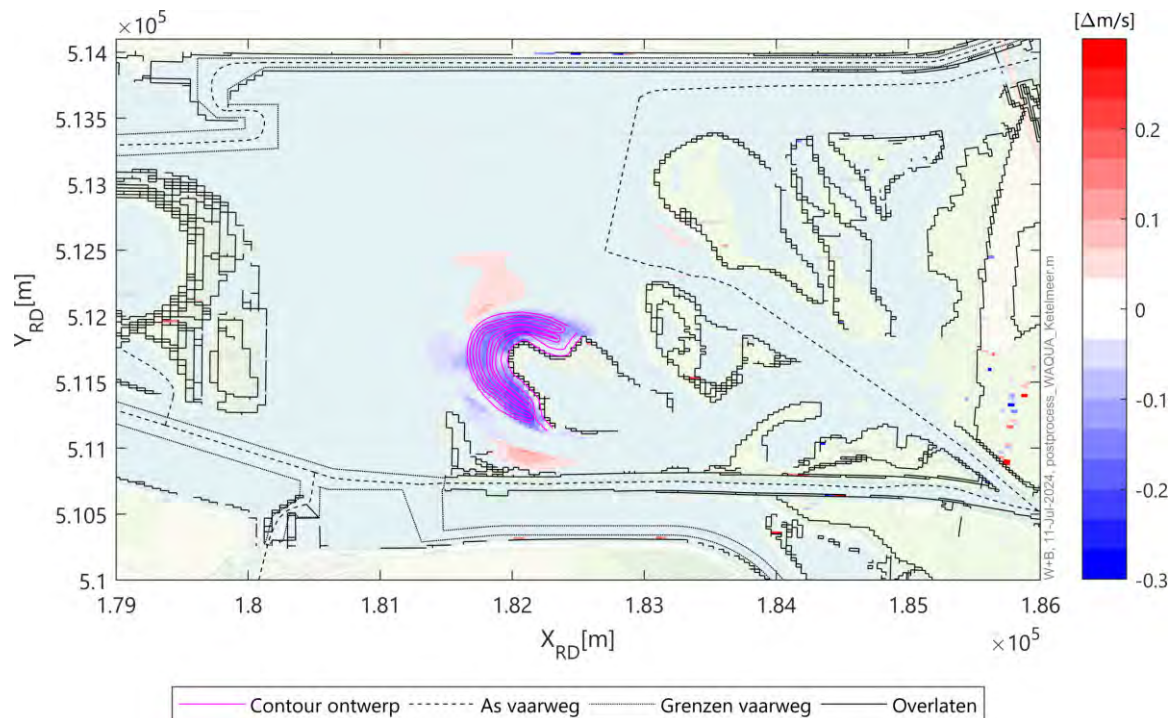
Tijdens de doorgerekende zware storm in het derde scenario, treden er rondom het zoekgebied stroomsnelheden op tot ongeveer 0,4 m/s (afbeelding 5.9). De invloed die het ontwerp heeft op het lokale stroombeeld is beperkt. Enkel in de directe omgeving van het zoekgebied veranderen de maximale stroomsnelheden met uiterlijk 0,1 m/s (afbeelding 5.10). Ook de veranderingen die optreden bij dit scenario zijn verwaarloosbaar op de omliggende vaarwegen.

Opgemerkt wordt bij afbeelding 5.9 dat tijdens maximale waterstand de Ramspolkering dicht is in het beschouwde scenario. Echter wordt de hoogste stroomsnelheid bij de Ramspolkering bereikt op een eerder moment, waarop de kering nog open staat. Omdat de Ramspolkering een invloed heeft op het stroombeeld tijdens maximale waterstanden (waarbij de kering is gesloten), is een tweede afbeelding van het verschil in stroomsnelheidsmagnitude toegevoegd op het moment van maximale waterstanden in de buurt van het zoekgebied, zie afbeelding 5.11. Deze afbeelding toont vergelijkbare verschillen als het verschil in maximale stroomsnelheden. Echter treedt lokaal in de recreatiegeul ten noorden van het zoekgebied een toename op in stroomsnelheid van 0,05 - 0,1 m/s.

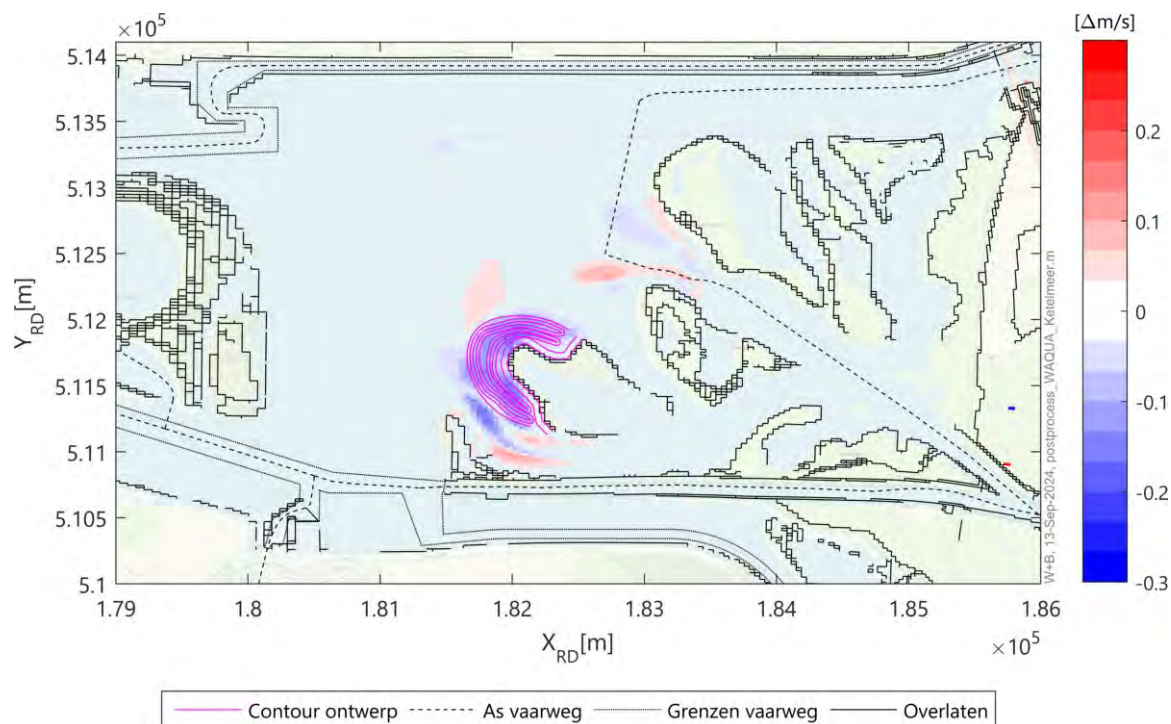
Afbeelding 5.9 Maximaal stroombeeld rondom zoekgebied 11 bij een IJsselafvoer van 280 m³/s, een Vechtafvoer van 50 m³/s en een IJsselmeerpeil van NAP -0,1 m, een stormverloop naar 24 m/s (DIR 270N), en een gesloten Ramspolkering



Afbeelding 5.10 Verschil in maximaal stroombeeld rondom zoekgebied 11 ten opzichte van de referentie bij een IJsselafvoer van 280 m³/s, een Vechtafvoer van 50 m³/s en een IJsselmeerpeil van NAP -0,1 m, een stormverloop naar 24 m/s (DIR 270N), en een gesloten Ramspolkering



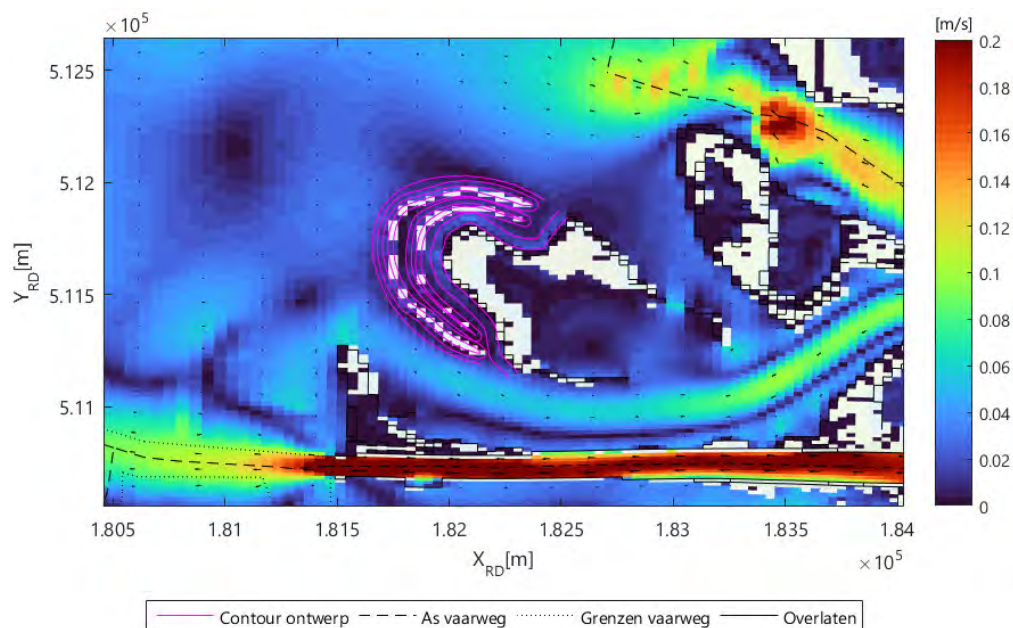
Afbeelding 5.11 Verschil in stroombeeld rondom zoekgebied 11 ten opzichte van de referentie bij een IJsselafvoer van 280 m³/s, een Vechtafvoer van 50 m³/s en een IJsselmeerpeil van NAP -0,1 m, een stormverloop naar 24 m/s (DIR 270N), en een gesloten Ramspolkering, op het moment van voorkomen van de maximale waterstanden in het gebied



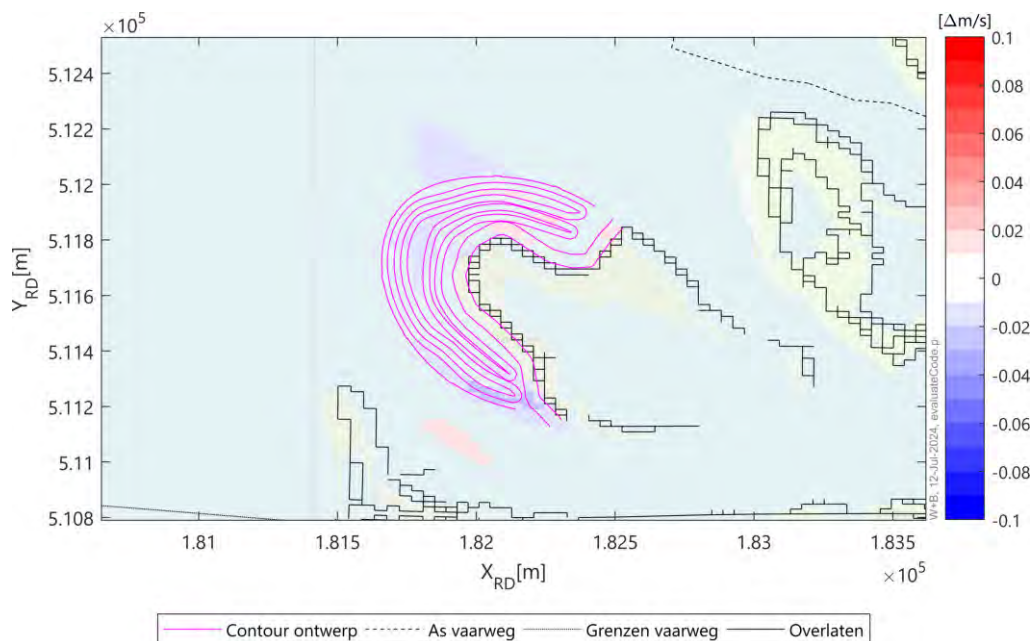
5.3.3 Mate van doorstroming

De mate van doorstroming is beschouwd voor een gemiddelde zomerconditie waarbij zowel rivierafvoer als windforcering een rol speelt. De lokale stroomsnelheden in en rondom het zoekgebied zijn kleiner dan 5 cm/s (afbeelding 5.12). Binnen de maatregel neemt de stroomsnelheid af tot maximaal 1 - 2 cm/s, wat betekent dat de mate van doorstroming binnen het gebied afneemt. De nieuw ontstane geulen in de maatregel hebben een lengte van ongeveer 1.350 m. Dat betekent dat het water binnen het zoekgebied binnen een dag kan door stromen.

Afbeelding 5.12 Stroombeeld rondom zoekgebied 11 bij een IJsselafvoer van 314 m³/s, een Vechtafvoer van 10 m³/s en een IJsselmeerpeil van NAP -0,2 m, een uniforme windsnelheid van 5,7 m/s (DIR 240N)



Afbeelding 5.13 Verschil in stroombeeld rondom zoekgebied 11 ten opzichte van de referentie bij een IJsselafvoer van 314 m³/s, een Vechtafvoer van 10 m³/s en een IJsselmeerpeil van NAP -0,2 m, een uniforme windsnelheid van 5,7 m/s (DIR 240N)



5.3.4 Effecten op zoetwaterbuffer

Voor de effecten op de zoetwaterbuffer is het verlies ingeschat aan de hand van volume grond dat wordt aangebracht binnen de bandbreedte van het zomerpeil (NAP -0,1 m - NAP -0,3 m). De hoogteligging van het VKA bevindt zich binnen deze bandbreedte en leidt dus tot een afname van de zoetwaterbuffer. Dit is weergegeven in tabel 5.3. Hier is geen criterium op van toepassing, omdat het overstroombare natuur betreft. De afname in zoetwaterbuffer is verwaarloosbaar (< 1 %) ten opzichte van de huidige zoetwaterbuffer van het Ketelmeer, dat een oppervlak heeft van circa 35 km [ref. 20].

Tabel 5.3 Inschatting effecten op zoetwaterbuffer Ketelmeer

Zoekgebied	Gemiddeld verlies aan watervolume binnen bandbreedte zomerpeil [m ³]
Ketelmeer zoekgebied 11	8.000 - 10.000

5.4 Morfologische effecten

5.4.1 Inleiding

De morfologische effecten die optreden ten gevolge van het ontwerp voor zoekgebied 11 worden in kaart gebracht aan de hand van twee scenario's (tabel 5.4). Beide scenario's representeren een situatie waarbij de rivierafvoer dominant is. Het eerste scenario heeft een herhaaltijd van 10 jaar. Het tweede scenario omvat jaarlijkse condities.

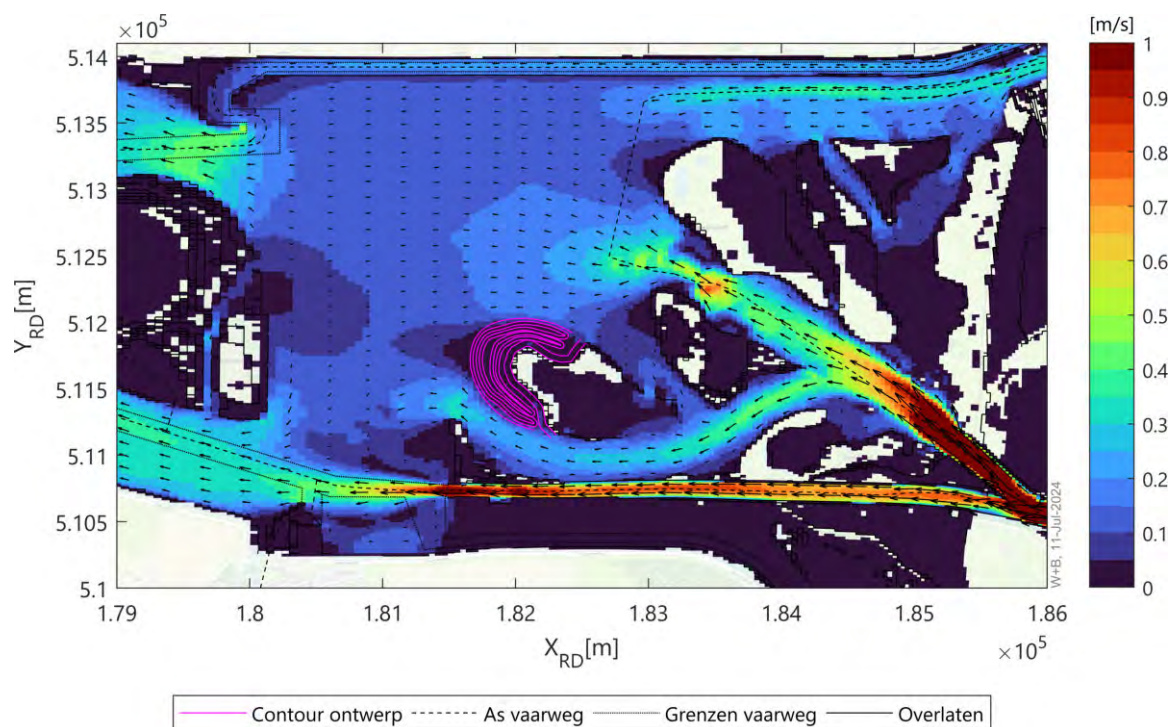
Tabel 5.4 Overzicht van uitgevoerde simulaties ter beoordeling van morfologische ten gevolge van het ontwerp voor zoekgebied 11 in het Ketelmeer

Scenario en Statistiek	Storm/wind	Rivierafvoer	Initiële Waterstand	Betreffende afbeelding
[1] Stroming T10 jaar	-	1.329 m ³ /s IJssel 299 m ³ /s Vecht	-0,1 m NAP IJsselmeerpeil	afbeelding 5.14 (absoluut) afbeelding 5.15 (verschil)
[2] Stroming 1/1 jaar	-	800 m ³ /s IJssel 239 m ³ /s Vecht	-0,4 m NAP IJsselmeerpeil	afbeelding 5.16 (absoluut) afbeelding 5.17 (verschil)

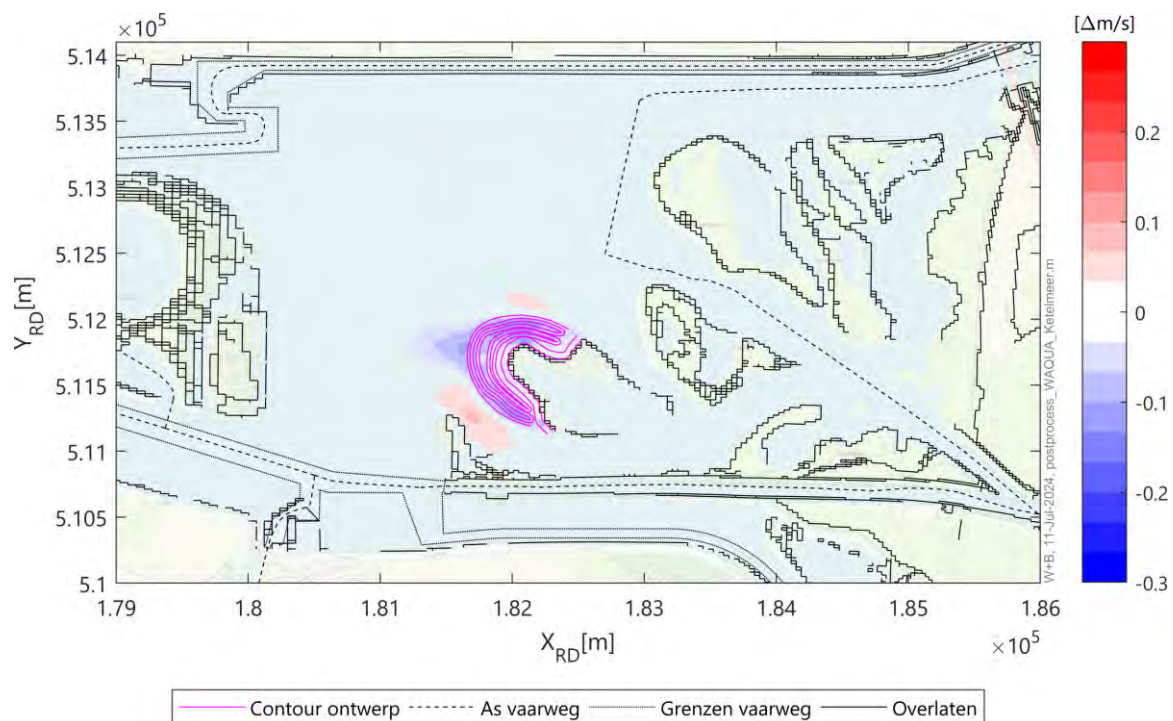
5.4.2 Effecten op stroming

Voor beide scenario's zijn de stromingscondities in de directe omgeving van het zoekgebied vergelijkbaar, met stroomsnelheden in de orde van 0,3 m/s langs de zuidzijde en noordzijde van het zoekgebied, en een stromingsluwe zone met stroomsnelheden kleiner dan 0,1 ter plaatse en ten westen van het zoekgebied (afbeelding 5.14, afbeelding 5.16). Aan de noordelijke en zuidelijke uiteinden van het ontwerp staan zones waar beperkte contractie van de stroming optreedt, wat leidt tot een lokale toename in stroomsnelheid van maximaal 0,1 m/s (afbeelding 5.15, afbeelding 5.17). Aan de westzijde van het ontwerp neemt de stroomsnelheid af met maximaal 0,15 m/s, waardoor hier extra luwte ontstaat.

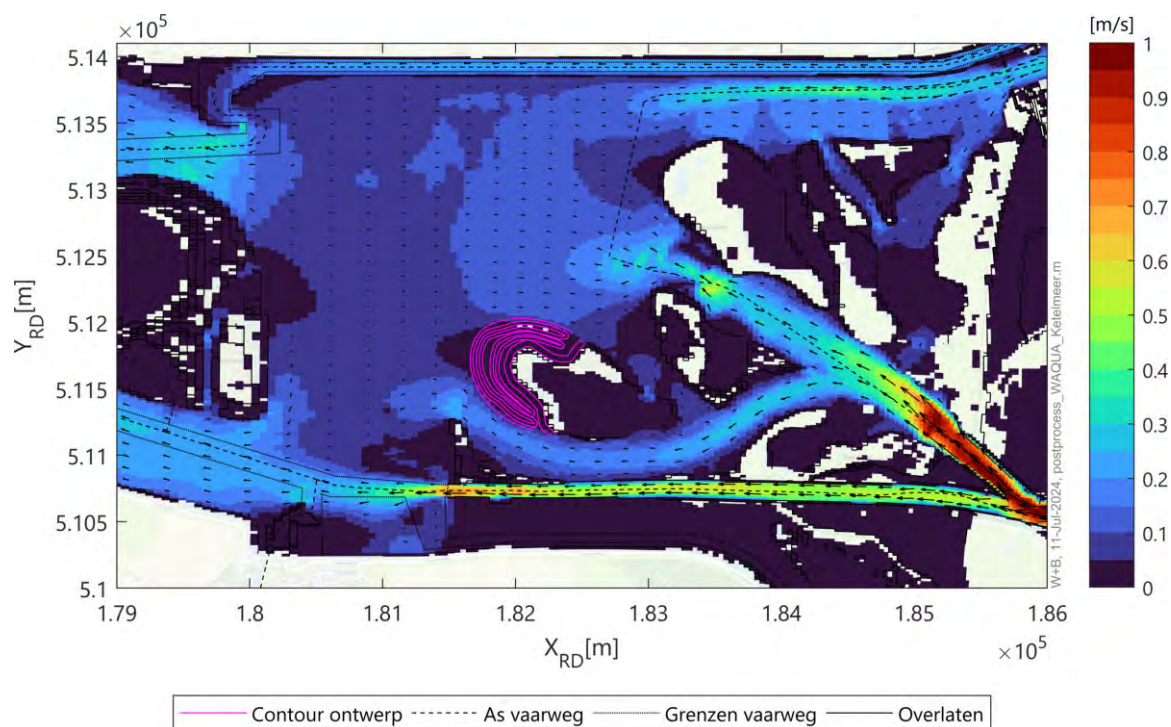
Afbeelding 5.14 Stroombeeld rondom zoekgebied 11 bij een IJsselafvoer van $1.329 \text{ m}^3/\text{s}$, een Vechtafvoer van $299 \text{ m}^3/\text{s}$ en een IJsselmeerpeil van NAP -0,1 m, zonder windforcering en een open Ramspolkering



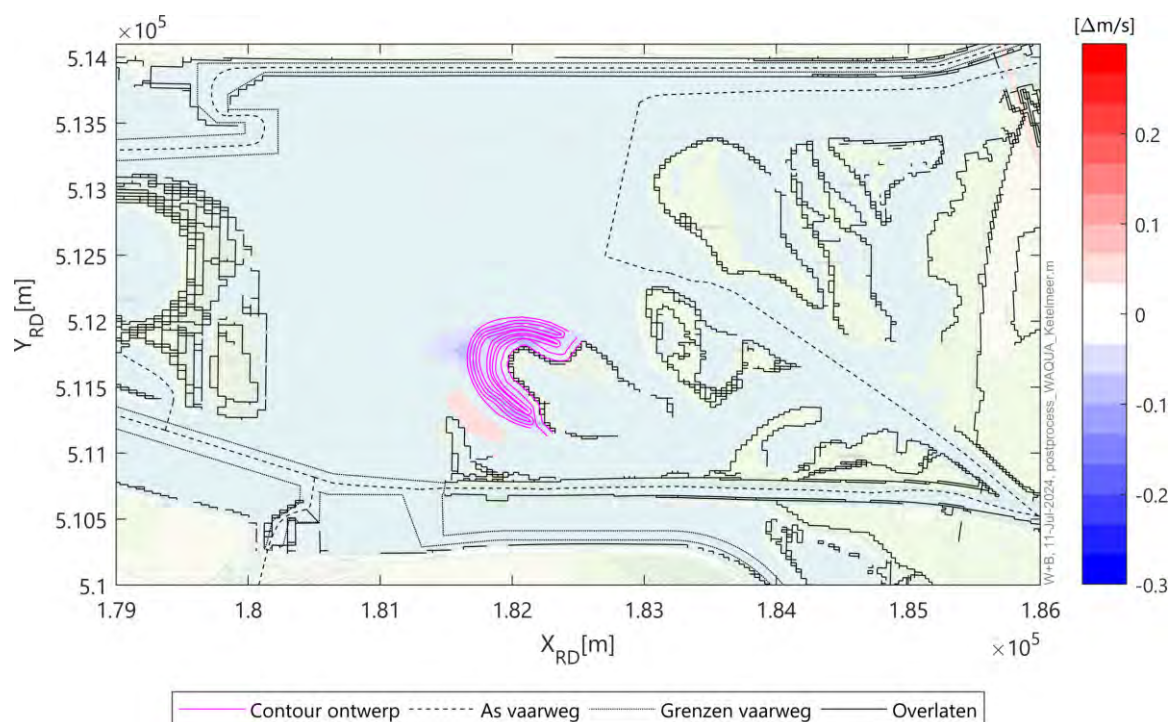
Afbeelding 5.15 Verschil in stroombeeld rondom zoekgebied 11 ten opzichte van de referentie bij een IJsselafvoer van $1.329 \text{ m}^3/\text{s}$, een Vechtafvoer van $299 \text{ m}^3/\text{s}$ en een IJsselmeerpeil van NAP -0,1 m, zonder windforcering en een open Ramspolkering



Afbeelding 5.16 Stroombeeld rondom zoekgebied 11 bij een IJsselafvoer van $800 \text{ m}^3/\text{s}$, een Vechtafvoer van $239 \text{ m}^3/\text{s}$ en een IJsselmeerpeil van NAP -0,4 m, zonder windforcering



Afbeelding 5.17 Verschil in stroombeeld rondom zoekgebied 11 ten opzichte van de referentie bij een IJsselafvoer van $800 \text{ m}^3/\text{s}$, een Vechtafvoer van $239 \text{ m}^3/\text{s}$ en een IJsselmeerpeil van NAP -0,4 m, zonder windforcering



5.4.3 Effecten op windgolven

Naast de stromingsscenario's, leiden windgolven mogelijk tot morfologische veranderingen ten gevolge van het ontwerp voor zoekgebied 11. In paragraaf 5.2.3 werd aan de hand van een extreem scenario waarbij

windgolven met een herhaaltijd van 100 jaar optreden aangetoond dat het ontwerp vooral leidt tot een afname in golfcondities aan de schaduwzijde van het zoekgebied. Opgemerkt wordt dat bij de beschouwde condities een extreme waterstand optreedt van NAP +1,4 m. Bij deze waterstand staan zowel de rijshouten dam als de richels ruim onder water: de waterdiepte boven de rijshouten dam is dan 1,1 m (kruin op NAP +0,3 m) en de waterdiepte boven de richels is dan 1,6 m (kruin op NAP -0,2 m).

5.4.4 Inschatting morfologische effecten

Gebied buiten ingreep

Veranderingen in het stroombeeld beperken zicht tot de directe omgeving van het ontwerp. Enkel langs de noordelijke en zuidelijke zijde van het zoekgebied nemen de stroomsnelheden toe met maximaal 0,05 - 0,1 m/s. Echter blijft de absolute stroomsnelheid hier tussen 0,2 en 0,3 m/s, waardoor hier geen significante erosie wordt verwacht.

Aan de westzijde van het zoekgebied neemt de stromingsluwte toe. Ondanks dat de lokale sedimenttransportcapaciteit zeer gering is door de lage lokale stroomsnelheden, is het mogelijk dat er tot in beperkte mate zwevend sediment zal neerslaan.

Projectgebied

Windgolven kunnen in potentie leiden tot morfologische effecten langs de oevers en de kruin van de ingreep. Voor de morfologische effecten is de tijdelijke situatie waarbij de richels nog onbegroeid / gedeeltelijk begroeid zijn maatgevend. We vergelijken de bodemschuifspanning (maat voor belasting) met de kritische bodemschuifspanning (maat voor de erosiebestendigheid). Bij zoekgebied 11 in het Ketelmeer bestaat het natuurlijke bodemmateriaal uit kleiarm zand of lichte zavel. De kritische bodemschuifspanning is 0,24 Pa voor kleiarm zand en 0,40 Pa voor lichte zavel [ref. Witteveen+Bos (2023a)].

Tijdens dagelijkse omstandigheden (met waterstanden rond het gemiddelde) wordt de golfenergie die het zoekgebied binnentreedt echter gelimiteerd door de rijshouten dammen, waardoor erosie van de richels voorkomen wordt. Tijdens extreme condities laten de rijshouten dammen een groot deel van de golven passeren. Echter is dan de resulterende bodemschuifspanning op de richels (0,4 Pa bij T100 jaar) relatief laag door de grotere waterdiepte en daarmee in dezelfde orde van grootte als de kritische bodemschuifspanning (0,24 - 0,4 Pa) van de onbegroeide richels. Enige erosie van de richels is niet uit te sluiten, maar is naar verwachting beperkt.

Daarnaast zijn de oevers beplant met riet, wat de erosiebestendigheid van de oevers vergroot. In de eerste jaren na aanleg, wanneer het riet zich nog moet ontwikkelen, wordt geadviseerd de stabiliteit van het ontwerp te monitoren.

6

HYDRAULISCHE EN MORFOLOGISCHE EFFECTEN ZWARTE MEER

6.1 Introductie

Dit hoofdstuk behandelt de gemodelleerde hydraulische en morfologische effecten ten gevolge van het ontwerp voor zoekgebied 14. Paragraaf 6.2 behandelt de aspecten met betrekking tot hoogwaterveiligheid. Hinder of schade door hydraulische effecten wordt besproken in paragraaf 6.3. Ten slotte gaat paragraaf 6.4 in op de morfologische effecten.

6.2 Hoogwaterveiligheid

6.2.1 Inleiding

Ter beoordeling van de effecten op de hoogwaterveiligheid die optreden ten gevolge van het ontwerp voor zoekgebied 14, zijn vier scenario's doorgerekend (tabel 6.1). De eerste drie (stroming)scenario's zijn gedefinieerd aan de hand van Conditionele Illustratiepunten (CIP). De terugkeertijd van deze scenario's is 3.000 jaar. Voor de beschouwing van de hoogwaterveiligheidseisen op as van het Zwarte Water moeten de waterstandseffecten voor elk van deze drie scenario's worden gewogen met wegingsfactoren die opgeteld 1 zijn (CIP ZWA: 0,372; CIP ZWB: 0,186; CIP ZWC: 0,444). Voor de beschouwing van de ruimtelijke (2D-)effecten, worden de drie scenario's afzonderlijk, zonder weging, beschouwd. Voor een uitgebreidere toelichting op de CIP-scenario's wordt verwezen naar paragraaf 3.4.

Het vierde scenario betreft een situatie met windgolven die optreden bij een zware storm met een herhaaltijd van 100 jaar.

Tabel 6.1 Overzicht van uitgevoerde simulaties ter beoordeling van de effecten op de hoogwaterveiligheid ten gevolge van het ontwerp voor zoekgebied 14 in het Zwarte Meer

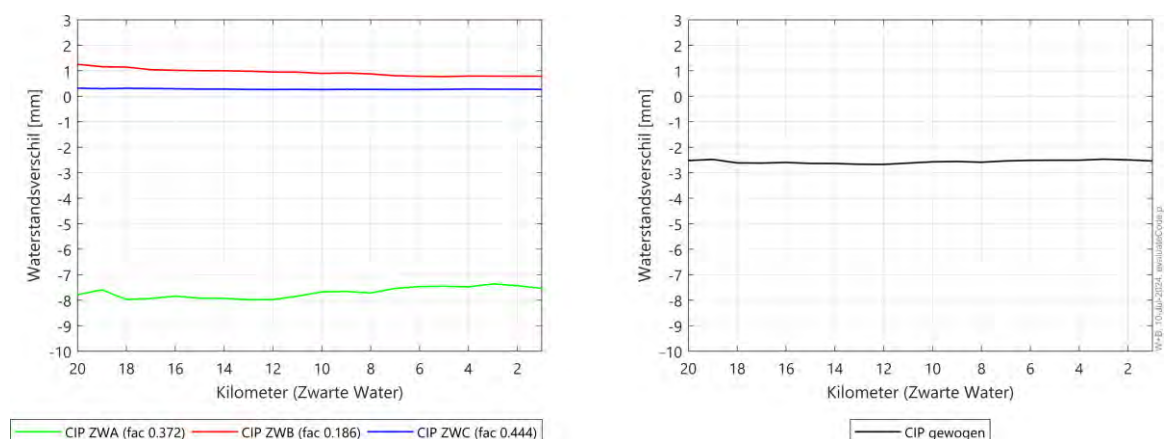
Scenario en Statistiek	Storm/wind	Rivierafvoer	Initiële Waterstand	Betreffende afbeelding
[1] Stroming T3.000 jaar CIP ZWA Ramspolkering open (wegingsfactor 0,372)	28 m/s verloop (23 uur - 2 uur piek - 23 uur) richting 270 N	320 m ³ /s IJssel 60 m ³ /s Vecht	-0,2 m NAP IJsselmeerpeil	afbeelding 6.1 (as) afbeelding 6.2 (absoluut) afbeelding 6.3 (verschil)
[2] Stroming T3.000 jaar CIP ZWB Ramspolkering open (wegingsfactor 0,186)	12 m/s verloop (23 uur - 2 uur piek - 23 uur) richting 270 N	1.850 m ³ /s IJssel 550 m ³ /s Vecht	+1,0 m NAP IJsselmeerpeil	afbeelding 6.1 (as) afbeelding 6.4 (absoluut) afbeelding 6.5 (verschil)
[3] Stroming T3.000 jaar CIP ZWC Ramspolkering dicht (wegingsfactor 0,444)	17 m/s verloop (23 uur - 2 uur piek - 23 uur) richting 270 N	1.630 m ³ /s IJssel 475 m ³ /s Vecht	+0,85 m NAP IJsselmeerpeil	afbeelding 6.1 (as) afbeelding 6.6 (absoluut) afbeelding 6.7 (verschil)

Scenario en Statistiek	Storm/wind	Rivierafvoer	Initiële Waterstand	Betreffende afbeelding
[4] Windgolven T100 jaar	19,1 m/s (uniform) richting 240 N	-	+1,4 m NAP	afbeelding 6.8 (absoluut) afbeelding 6.9 (verschil)

6.2.2 Hoogwaterveiligheid - waterstandseffecten op de as van de rivier

De maatregelen in zoekgebied 14 bevinden zich nabij de monding van het Zwarte Water in het Zwarte Meer. Het Zwarte Water is een waterlichaam waarvan de beoordeling hoort te geschieden volgens het Rivierkundig Beoordelingskader (RBK, [ref. 11]). Deze stelt dat de waterstandsverandering op de rivieras in principe niet groter mag zijn dan 1 mm. De verandering in maximale waterstanden voor de drie CIP-scenario's zijn weergegeven in afbeelding 6.1 (links). Het eerste CIP-scenario (ZWA) levert een afname in waterstand op van 7 - 8 mm. De andere twee CIP-scenario's ZWB en ZWC leiden tot een verhoging van de maximale waterstand van uiterlijk 1,2 mm. Ter plaatse van de aantakking van de Vecht (Zwarte Water kilometer 6) is de toename in maximale waterstand voor alle CIP-scenario's kleiner dan 1 mm. afbeelding 6.1 (rechts) toont het gewogen resultaat van deze drie scenario's: een afname in het maximale waterstandsniveau van ongeveer 2,5 mm over het gehele Zwarte Water.

Afbeelding 6.1 Links: de individuele waterstandsverandering op de rivieras van het Zwarte Water voor de drie CIP-scenario's.
Rechts: het gewogen waterstandseffecten op de rivieras van het Zwarte Water



6.2.3 Hoogwaterveiligheid - waterstandseffecten nabij primaire keringen

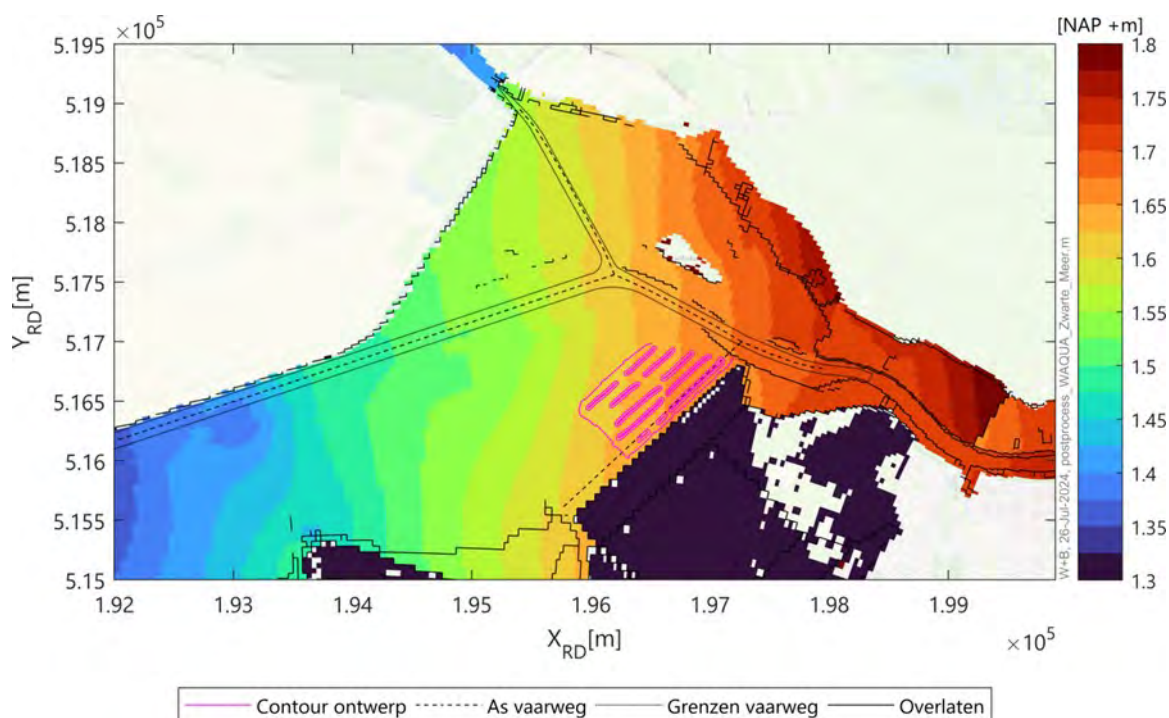
CIP-scenario ZWA

Afbeelding 6.2 toont het tweedimensionale, maximale waterstandsveld voor het stormgedomineerde CIP-scenario ZWA (wegingsfactor 0,372). Ter plaatse van het zoekgebied bedraagt de maximale waterstand NAP +1,60 m tot NAP +1,65 m. Bij extreme windcondities vanuit het Westen, ontstaan in het Zwarte Meer grootschalige circulatiepatronen (zie paragraaf 6.3 voor een nadere beschouwing). De aanwezigheid van het ontwerp leidt tot een gedeeltelijke blokkade van dit stromingspatroon, waardoor de circulatiestroming meer weerstand ervaart. Daardoor neemt de maximale waterstand binnen het Zwarte Meer op diverse locaties toe met maximaal 10 - 12 mm (afbeelding 6.3).

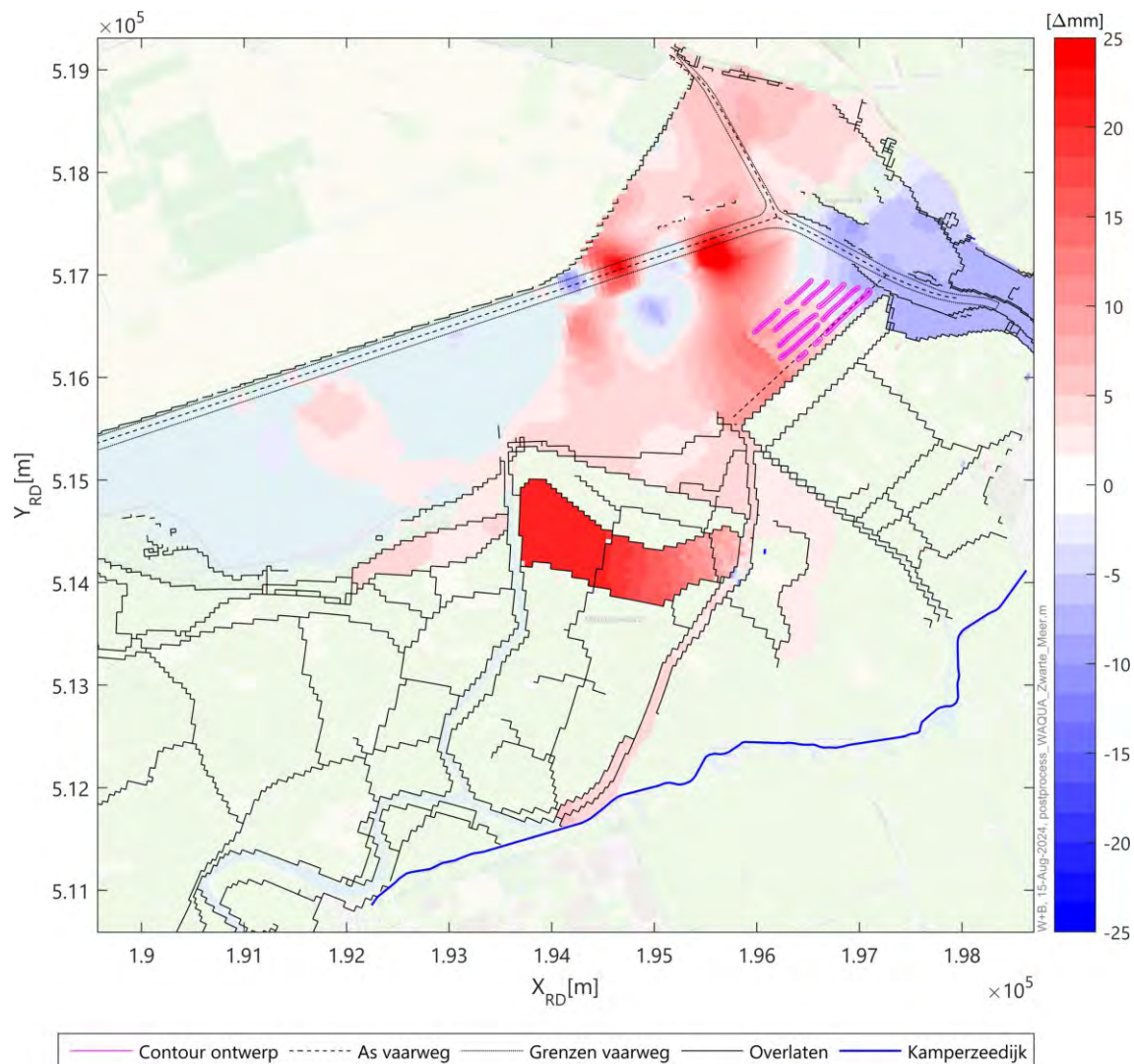
Het waterstandseffect straalt via de kanalen in zuidelijke richting uit naar de Kamperzeedijk. Met name via de Goot bereikt het waterstandseffect de Kamperzeedijk, waar de toename in maximale waterstand langs enkele honderden meters van het dijktraject maximaal 5 - 6 mm bedraagt. Het modelrooster is te grof om het effect in de Veneriete te bepalen. De verwachting is dat ook via dit kanaal een verhoging van de maximale waterstaat optreedt langs de Kamperzeedijk van hooguit enkele centimeters.

De omleiding van de grootschalige windgedreven stromingspatronen leidt ook tot een afname van de maximale waterstand: ter plaatse van het benedenstroomse uiteinde van het Zwarte Water. Dit komt doordat een storm iets minder makkelijk het Zwarte Water binnendringt. Deze afname in maximale waterstand vertaalt zich door middel van een stuwkromme-effect in bovenstroomse richting door, waardoor de maximale waterstand bij dit scenario op het hele Zwarte Water (en ook op de Vecht) afneemt.

Afbeelding 6.2 Maximale waterstandsveld rondom zoekgebied 14 voor CIP-scenario ZWA (wegingsfactor 0,372)



Afbeelding 6.3 Verskil in maximale waterstandsveld ten opzichte van de referentie bij CIP-scenario ZWA (wegingsfactor 0,372)

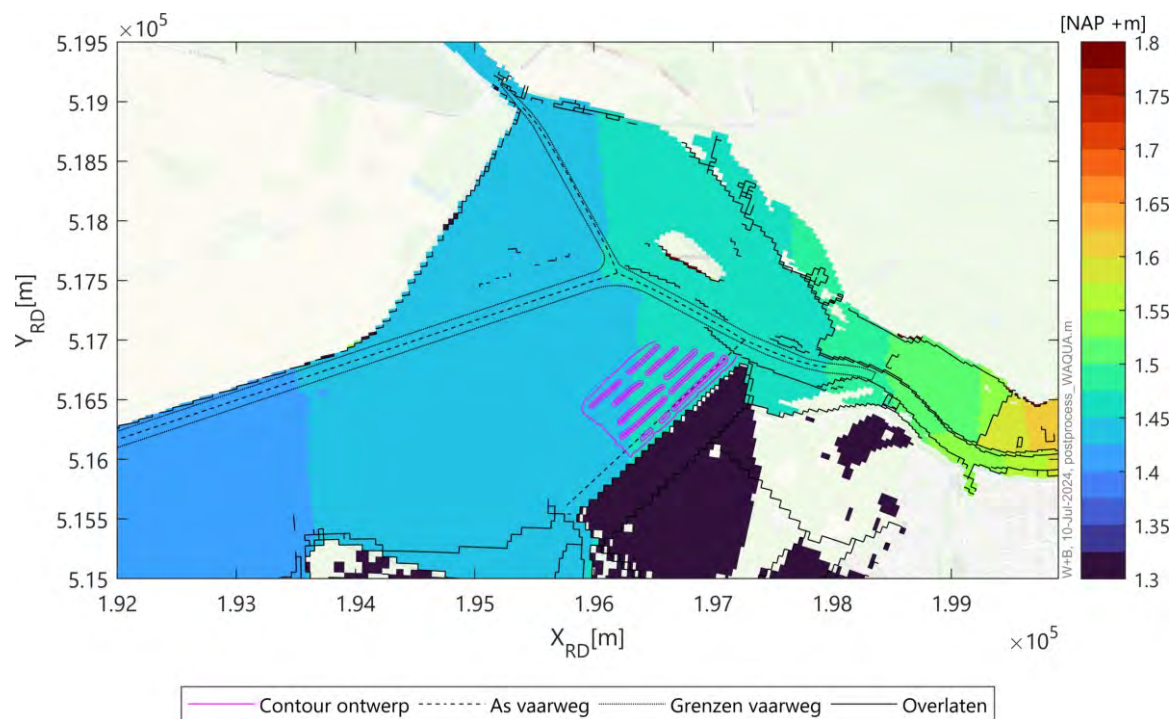


CIP-scenario ZWB

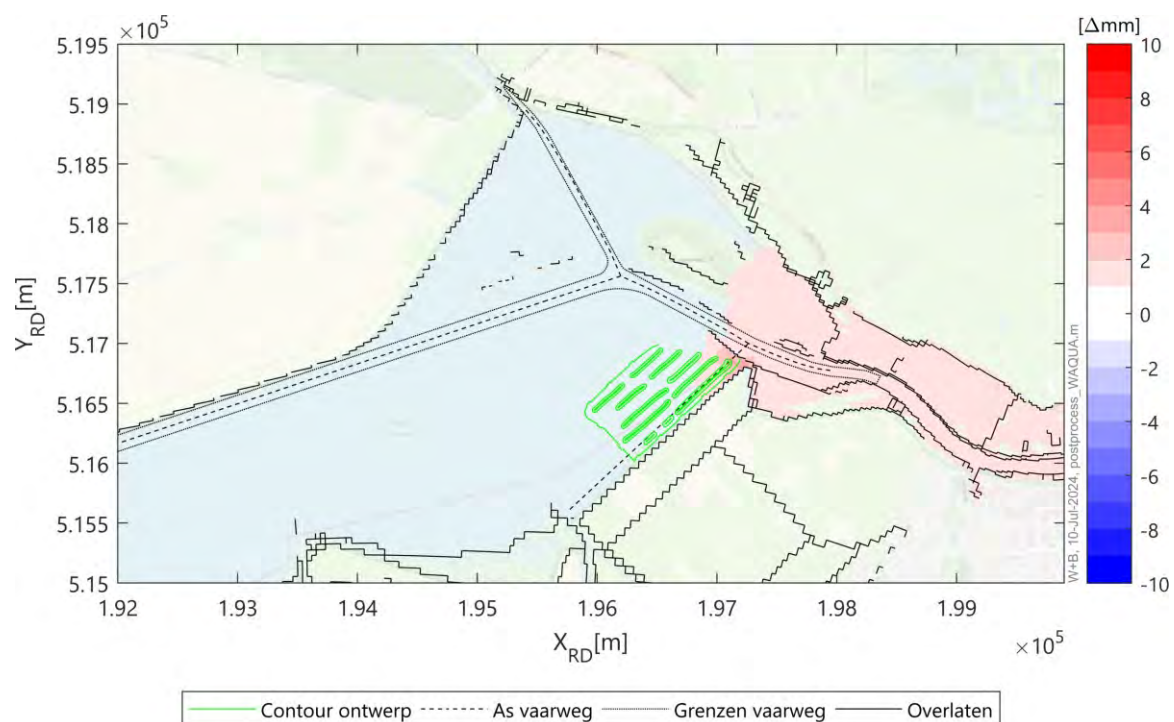
Het tweede CIP-scenario, ZWB (wegingsfactor 0,186), is afvoergedomineerd. De lokale maximale waterstand voor dit scenario is NAP +1,45 m tot NAP +1,50 m ter plaatse van het zoekgebied (afbeelding 6.4). Daar waar het Zwarte Water uitmondt in het Zwarte Meer, verspreidt het water zich bij een extreme afvoer ook in zuidelijke richting, waar het dan over de zuidelijke strekdam van de monding heen stroomt (zie paragraaf 6.3 voor een nadere beschouwing voor dit stroombeeld). Door de aanwezigheid van het ontwerp in zoekgebied 14, vormt deze route meer weerstand tegen het water dat in zuidelijke richting uitstroomt, waardoor er opstuwing ontstaat op het Zwarte Water (afbeelding 6.5). De toename in maximale waterstand op het Zwarte Water bedraagt uiterlijk 2 mm. Ter plaatse van het meest oostelijke uiteinde van het zoekgebied is de lokale toename in maximale waterstand lokaal hoger, en bedraagt hoogstens 4 - 5 mm.

Voor CIP-scenario ZWB treedt er geen merkbaar waterstandseffect op langs de Kamperzeedijk.

Afbeelding 6.4 Maximale waterstandsveld rondom zoekgebied 14 voor CIP-scenario ZWB (wegingsfactor 0,186)



Afbeelding 6.5 Verschil in maximale waterstanden bij scenario CIP ZWB (wegingsfactor 0,186)



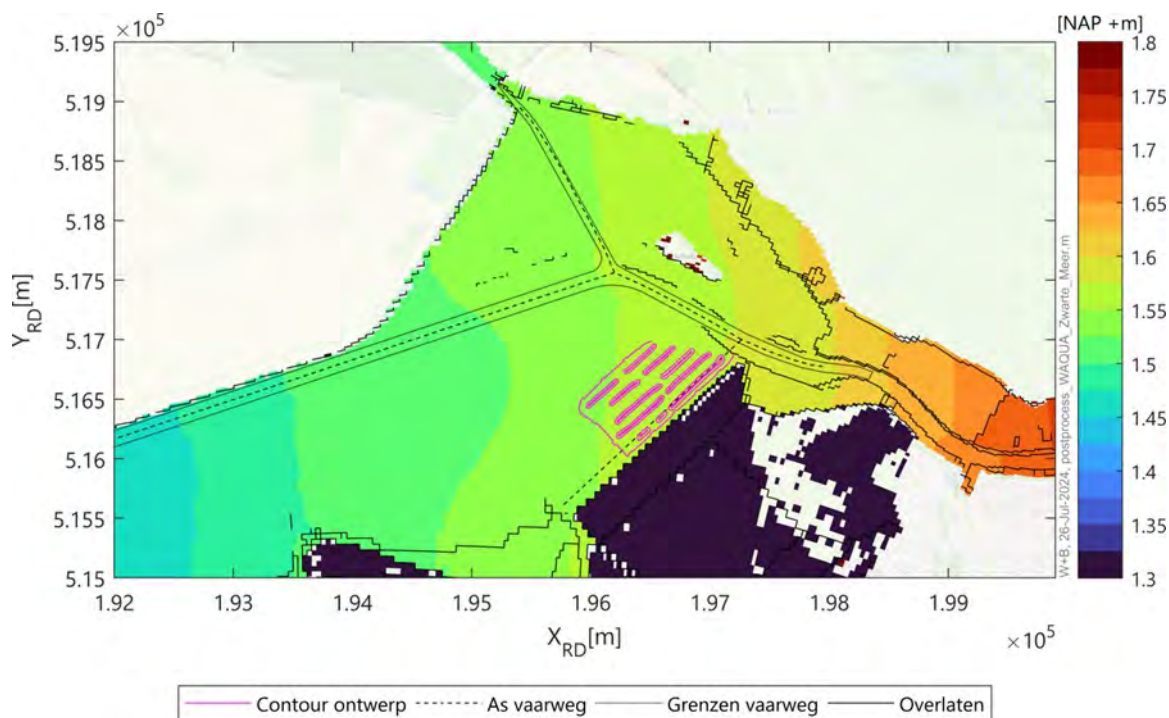
CIP-scenario ZWC

In het derde CIP-scenario (ZWC, wegingsfactor 0,444) wordt een extreme afvoer gecombineerd met een zware storm. De lokale waterstand ter plaatse van zoekgebied 14 is NAP +1,55 m (afbeelding 6.6). Opnieuw ontstaat er een grootschalig, windgedreven circulatiepatroon in het Zwarte Meer, dat wordt geblokkeerd door de aanwezigheid van het ontwerp in zoekgebied 14, met als gevolg een verschuiving van de positie van de grootschalige neren. Hierdoor ontstaat op het Zwarte Meer een toename én afname in maximale waterstand van maximaal 4 - 5 mm (afbeelding 6.7).

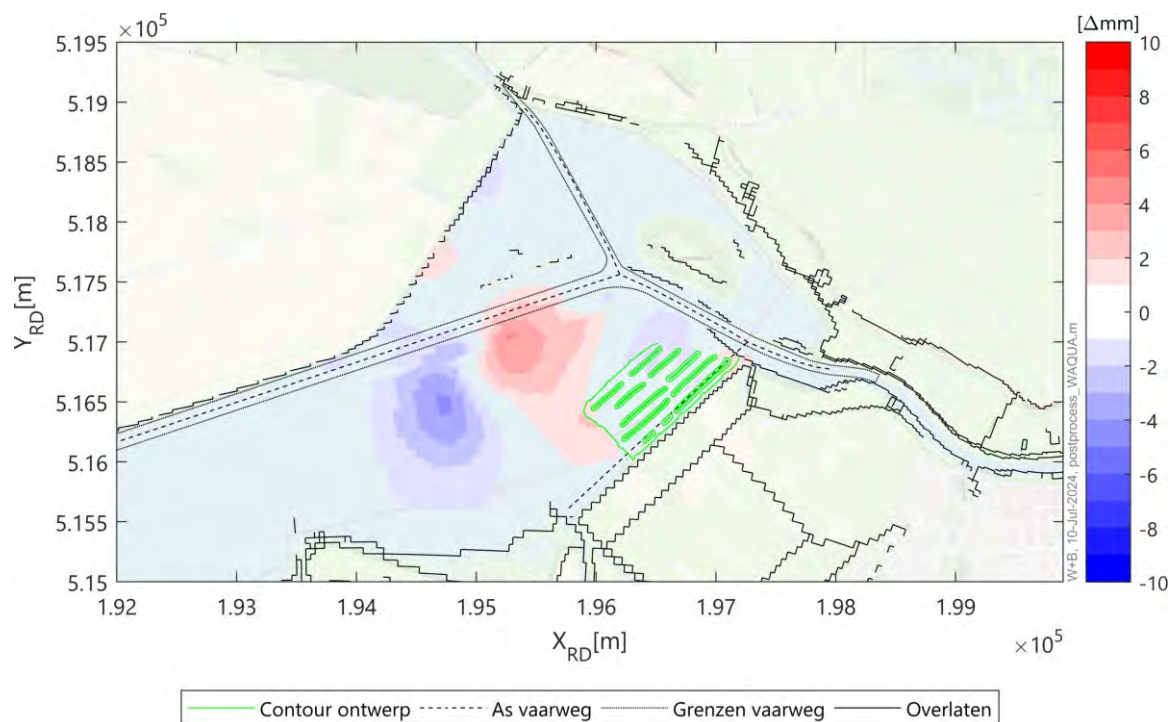
De vorige twee scenario's lieten zien dat daar waar de eilanden in combinatie met het windgedreven stroombeeld leiden tot een afname in maximale waterstand op het Zwarte Water, en dat de combinatie van hoge afvoer en het ontwerp tot een toename in maximale waterstand leiden op het Zwarte Water. Omdat dit scenario een extreme afvoer met een zware storm combineert, is de verwachting dat deze effecten elkaar opheffen in dit scenario, waardoor de netto waterstandsverandering op het Zwarte Water kleiner is dan 1 mm (afbeelding 6.7).

Voor CIP-scenario ZWC treedt er geen merkbaar waterstandseffect op langs de Kamperzeedijk.

Afbeelding 6.6 Maximale waterstandsveld rondom zoekgebied 14 voor CIP-scenario ZWC (wegingsfactor 0,444)



Afbeelding 6.7 Verskil in maximale waterstanden bij scenario CIP ZWC (wegingsfactor 0,444)



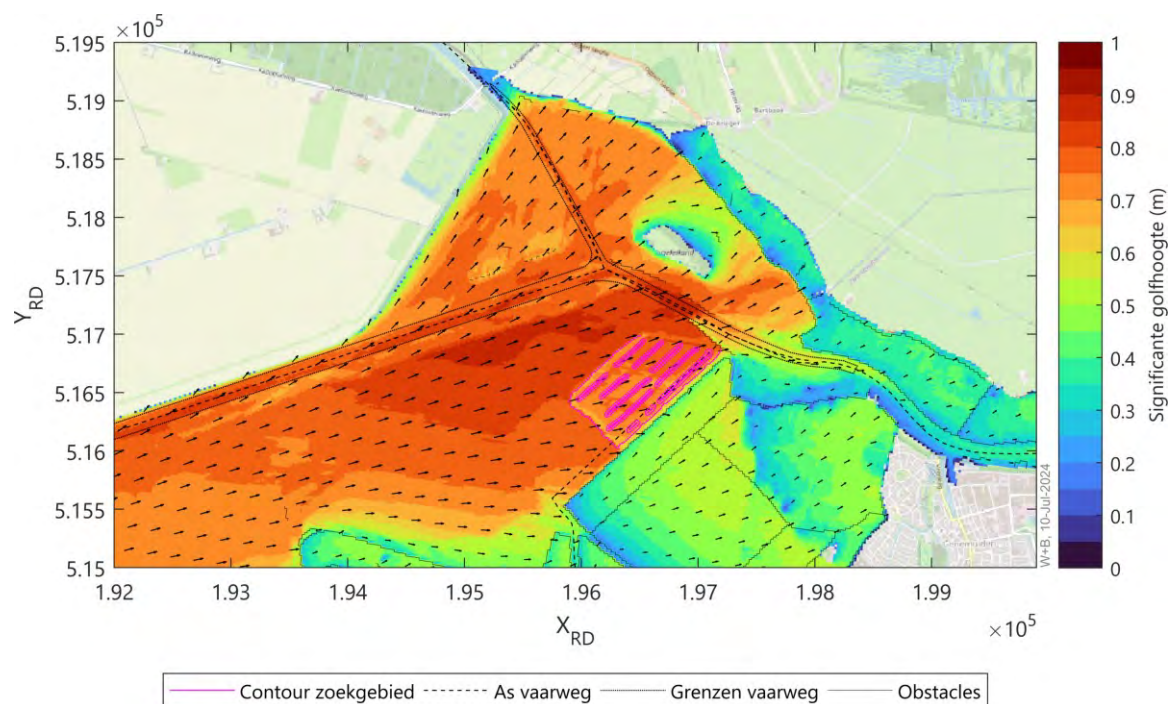
6.2.4 Hoogwaterveiligheid - inschatting effecten op hydraulisch belastingniveau

Bij een zware storm uit het Westzuidwesten (T100 jaar), in combinatie met een lokale waterstand van NAP +1,4 m, is de te verwachten significante golfhoogte ter plaatse van zoekgebied 0,7 - 0,8 m (afbeelding 6.8). De combinatie van de rijshouten dammen en de eilanden die onderdeel uitmaken van het ontwerp, leiden tot een lokale afname in golfhoogte van 5 - 25 cm (afbeelding 6.9). De reductie van de golfhoogte is vooral binnen de omtrek van het zoekgebied merkbaar. Ook treedt er lokaal op het Zwarte Water een reductie van enkele centimeters in significante golfhoogte op. De significante golfhoogte binnen de omtrek van het zoekgebied blijft echter zo'n 60 - 70 cm.

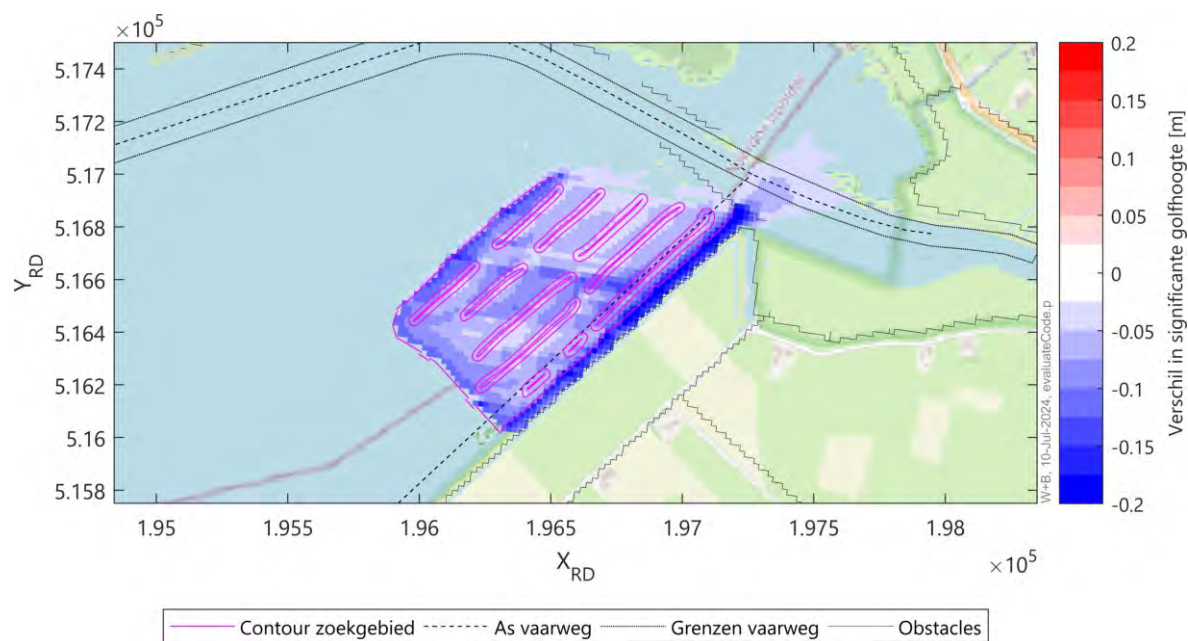
Opgemerkt wordt dat bij de beschouwde condities een extreme waterstand optreedt van NAP +1,4 m. Bij deze waterstand staan zowel de rijshouten dam als de richels ruim onder water: de waterdiepte boven de rijshouten dam is dan 1,1 m (kruin op NAP +0,3 m) en de waterdiepte boven de richels is dan 1,6 tot 2,1 m (kruin op NAP -0,2 m tot NAP -0,7 m).

Qua hydraulische belastingen, leidt het ontwerp (buiten eerder besproken toename in maximale waterstanden langs enkele keringen) niet tot een verdere toename van het hydraulisch belastingniveau op de dijken. De inkomende golfhoogte die de keringen bereikt neemt juist af.

Afbeelding 6.8 Golfveld (significante golfhoogte) bij een uniform windveld van 19,1 m/s (DIR 240N) en een lokale waterstand van NAP +1,4 m



Afbeelding 6.9 Verschil in significante golfhoogte bij een uniform windveld van 19,1 m/s (DIR 240N) en een lokale waterstand van NAP +1,4 m



6.3 Hinder of schade door hydraulische effecten

6.3.1 Inleiding

Om te beoordelen of er hinder of schade optreedt door hydraulische effecten die worden veroorzaakt door het ontwerp in zoekgebied 14, is een drietal scenario's gesimuleerd (**Fout! Verwijzingsbron niet gevonden.**).

In het eerste en tweede scenario wordt een hoge afvoercombinatie beschouwd (T10 en T100). In de derde en vierde simulatie worden respectievelijk een zware storm (T10) en gemiddelde zomercondities doorgerekend. Voor scheepvaart zijn vooral twee de T10 jaar scenario's van belang waarbij de buitendijkse gebieden nog niet overstromen, maar die duidelijke van elkaar verschillen: afvoerdominantie versus stormdominantie. Verder is ter aanvulling ook een T100 jaar afvoergedomineerde situatie beschouwd (tweede scenario). De laagdynamische situatie met gemiddelde zomercondities is gebruikt om de mate van doorstroming te beoordelen.

De resulterende, maximale waterstanden ter hoogte van zoekgebied 14 zijn weergegeven in de laatste kolom van de tabel.

Tabel 6.2 Overzicht van uitgevoerde simulaties ter beoordeling van hinder of schade door hydraulische effecten ten gevolge van het ontwerp voor zoekgebied 14 in het Zwarte Meer

Scenario en Statistiek	Storm/wind	Rivierafvoer	Initiële waterstand	(Maximale) waterstand ter hoogte van zoekgebied 14	Betreffende afbeelding
[1] Stroming T10 jaar Ramspolkering open	-	1.329 m ³ /s IJssel 299 m ³ /s Vecht	-0,1 m NAP IJsselmeerpeil	+0,10 m NAP	afbeelding 6.10 (absoluut) afbeelding 6.11 (verschil)
[2] Stroming T100 Hoge afvoer Ramspolkering open	-	2.040 m ³ /s IJssel 419 m ³ /s [ref. Deltares (2017)]	-0,4 m NAP IJsselmeerpeil	+0,05 m NAP	afbeelding 6.12 (absoluut) afbeelding 6.13 (verschil)
[3] Stroming T10 jaar Ramspolkering dicht	24 m/s verloop (23 uur - 2 uur piek - 23 uur) richting 270 N	280 m ³ /s IJssel 50 m ³ /s Vecht	-0,1 m NAP IJsselmeerpeil	+0,80 m NAP	afbeelding 6.14 (absoluut) afbeelding 6.15 (verschil) afbeelding 6.16 (verschil)
[4] Stroming Gemiddelde zomercondities	5,7 m/s (uniform) richting 240 N	314 m ³ /s IJssel 10 m ³ /s Vecht	-0,2 m NAP IJsselmeerpeil	-0,15 m NAP	afbeelding 6.17 (absoluut) afbeelding 6.18 (verschil)

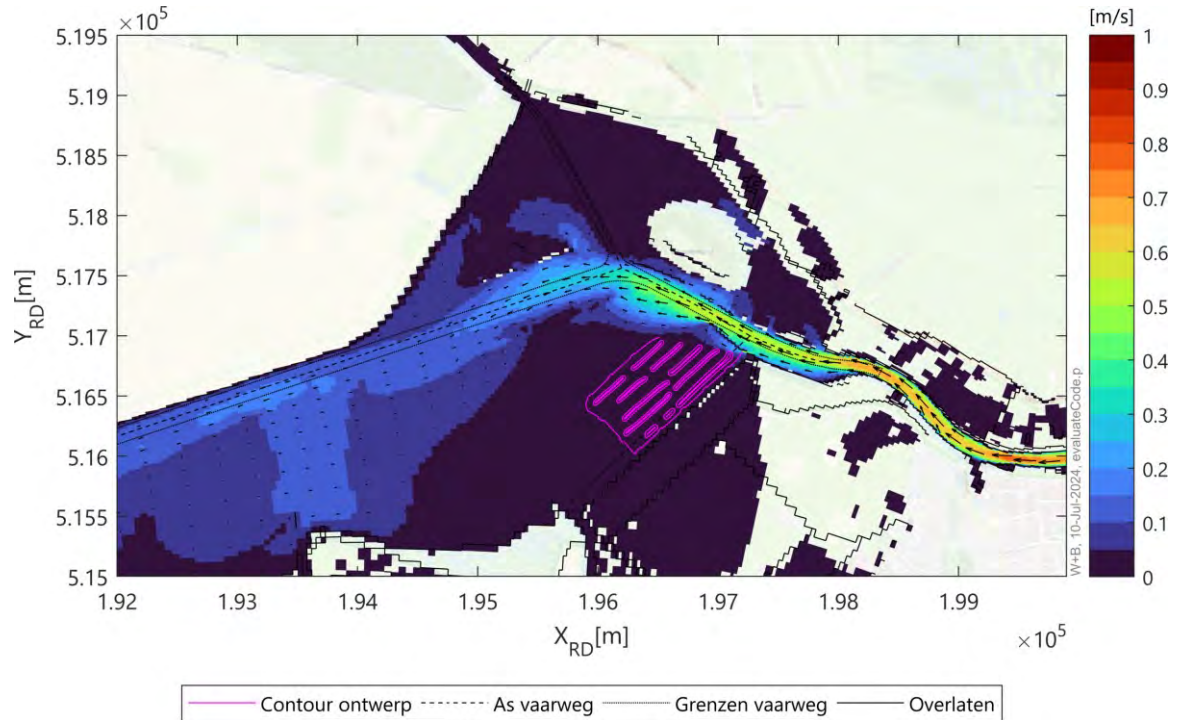
6.3.2 Stroombeeld in vaarweg

Stroming tijdens hoge afvoer

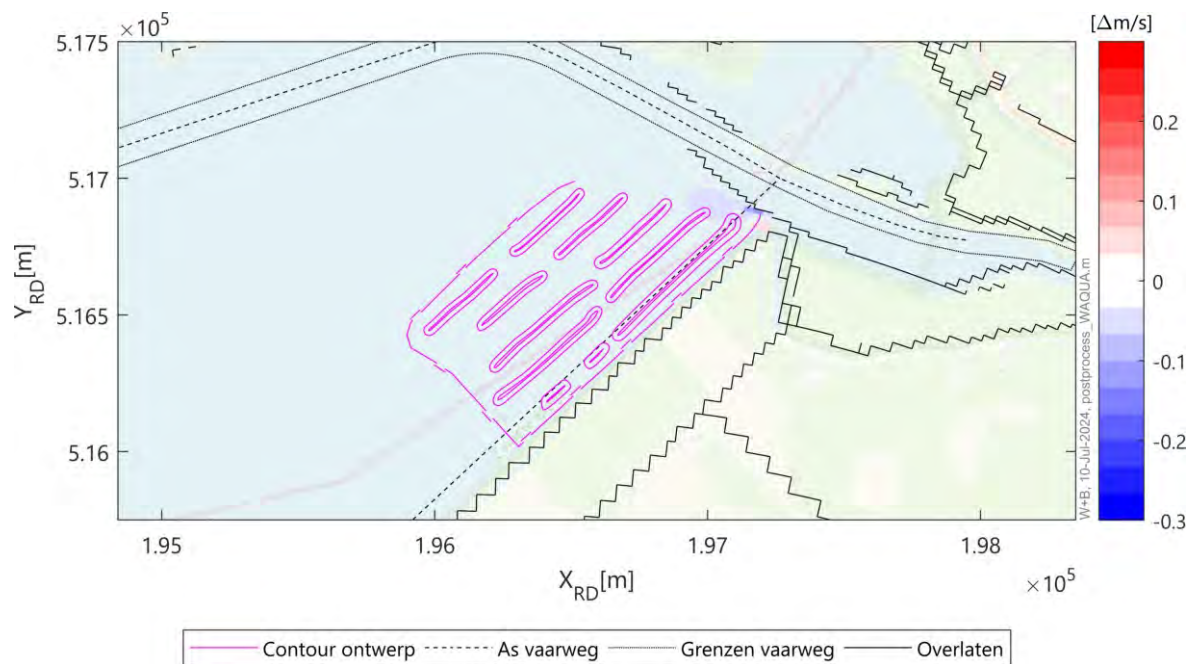
Het eerste scenario is afvoergedomineerd. Het water dat vanuit het Zwarte Water het Zwarte Meer instroomt, verspreidt zich vooral in westnoordwestelijke richting, maar stroomt ook in zuidelijke richting door de opening in de strekdam waar de recreatievaargeul aantakt (afbeelding 6.10). Door de ligging van de eilanden binnen het zoekgebied, neemt de stromingsweerstand langs deze route toe, waardoor langs de noordoostelijke rand van het zoekgebied een beperkte vertraging van de stroming optreedt van 0,05 - 0,1 m/s (afbeelding 6.11). Verder zijn de wijzigingen in stroombeeld in de hoogwatergeul en vaarweg

verwaarloosbaar in dit scenario. Bij rivierafvoeren met een kleinere kans van voorkomen (T100) zijn de effecten op het stroombeeld vergelijkbaar. Enkel de oppervlakte waarover de effecten optreden is wat groter (afbeelding 6.12, afbeelding 6.13)

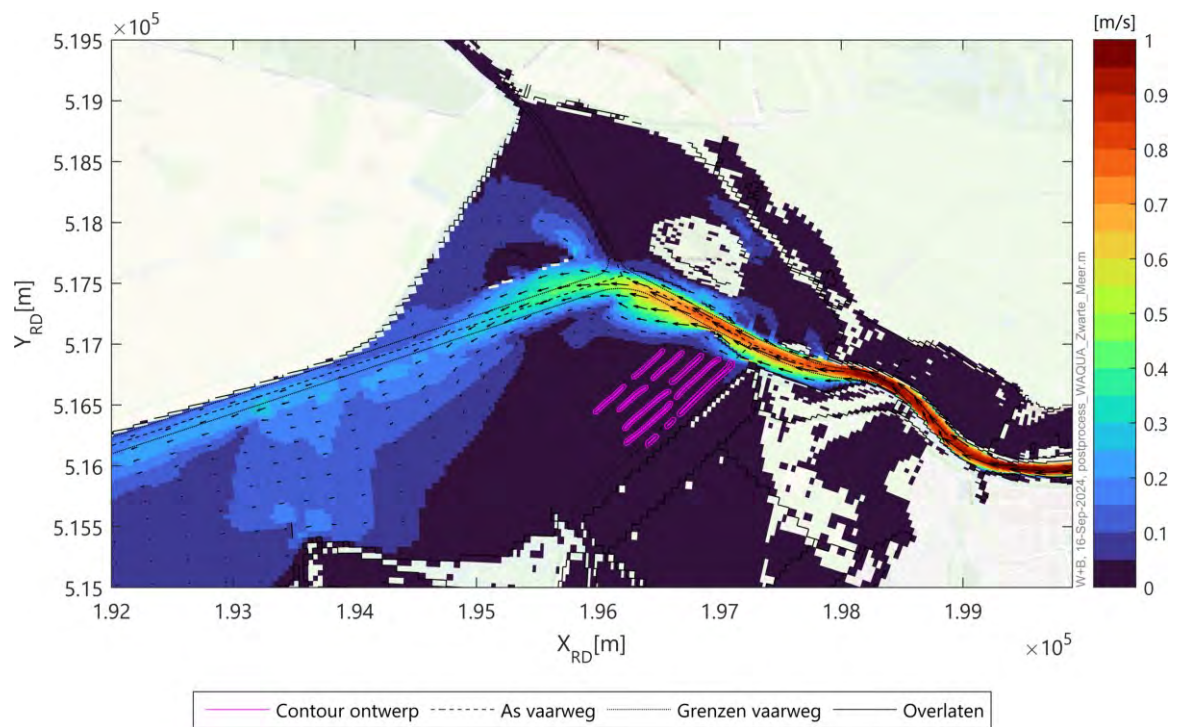
Afbeelding 6.10 Maximaal stroombeeld rondom zoekgebied 14 bij een IJsselafoer van $1.329 \text{ m}^3/\text{s}$, een Vechtafoer van $299 \text{ m}^3/\text{s}$ en een IJsselmeerpeil van NAP -0,1 m, zonder windforcering en een open Ramspolkering



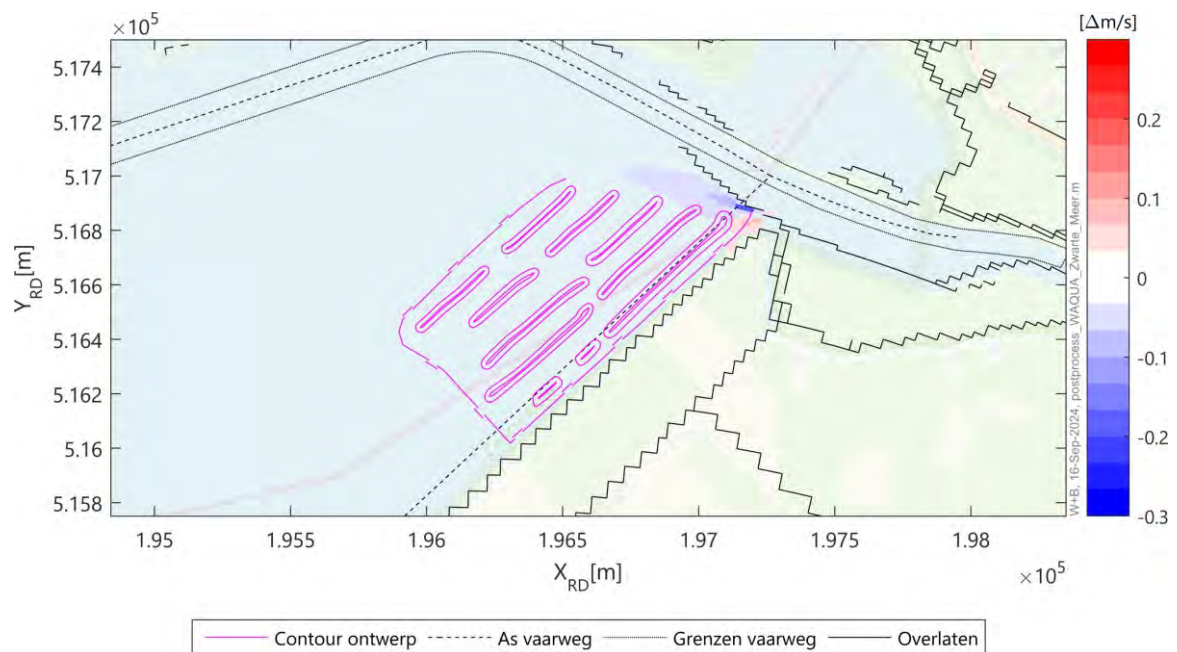
Afbeelding 6.11 Verschil in maximaal stroombeeld rondom zoekgebied 14 ten opzichte van de referentie bij een IJsselafoer van $1.329 \text{ m}^3/\text{s}$, een Vechtafoer van $299 \text{ m}^3/\text{s}$ en een IJsselmeerpeil van NAP -0,1 m, zonder windforcering en een open Ramspolkering



Afbeelding 6.12 Maximaal stroombeeld rondom zoekgebied 14 ten opzichte van de referentie bij een IJsselafvoer van 2040 m³/s, een Vechtafvoer van 419 m³/s en een IJsselmeerpeil van NAP -0,4 m, zonder windforcering



Afbeelding 6.13 Verschil in maximaal stroombeeld rondom zoekgebied 14 ten opzichte van de referentie bij een IJsselafvoer van 2040 m³/s, een Vechtafvoer van 419 m³/s en een IJsselmeerpeil van NAP -0,4 m, zonder windforcering



Stroming tijdens stormcondities

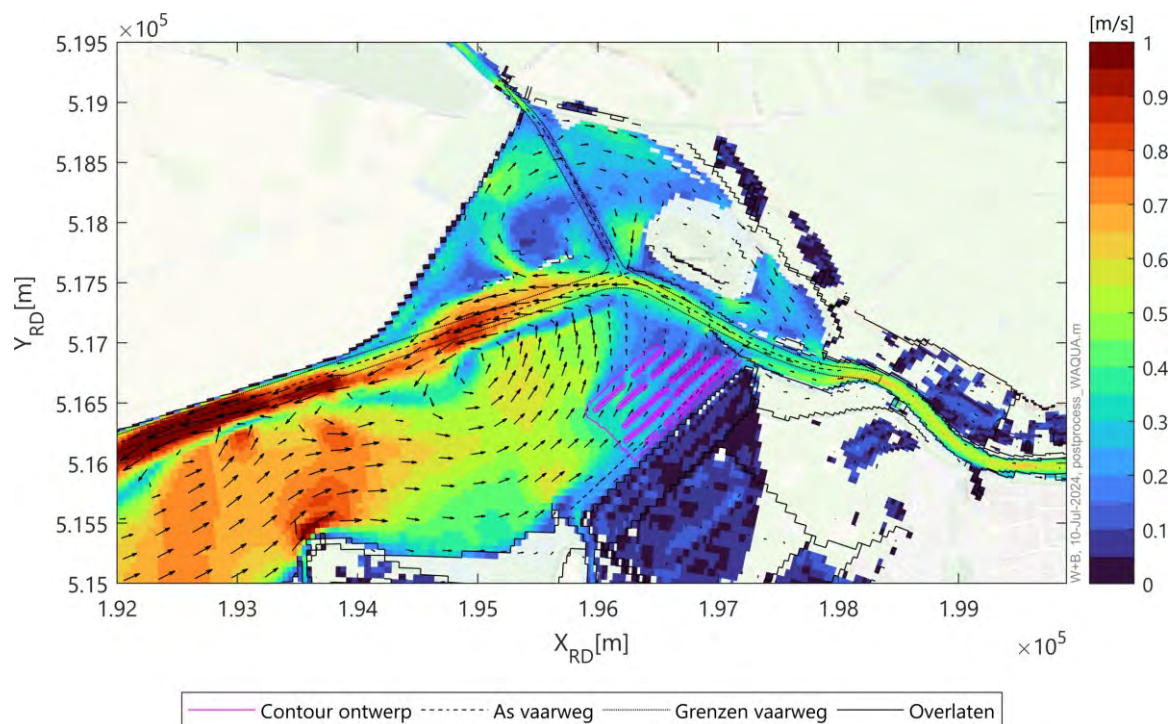
Voor het scenario waarin stormcondities zijn doorgerekend, wijzigt het stroombeeld en treden er grootschalige circulatiepatronen op binnen het Zwarte Meer, met maximale stroomsnelheden tussen 0,3 - 0,5 m/s ter plaatse van zoekgebied 14 (afbeelding 6.14, afbeelding 6.15). De aanwezigheid van de ingrepen ter plaatse van het zoekgebied blokkeert dit stromingspatroon gedeeltelijk, waardoor de grootste neer op het Zwarte Water wordt geknepen en de locatie van de grootschalige neren wijzigt. Ter plaatse van zoekgebied 14 zorgt dit voor een reductie in maximale stroomsnelheid tot orde 0,3 m/s. Aan de zuidwestelijke hoek van het zoekgebied neemt de maximale stroomsnelheid toe met maximaal 0,1 m/s, omdat hier nu contractie plaatsvindt van de stroming door de aanwezigheid van de ingrepen. Verder weg van het zoekgebied is een herverdeling van het stroombeeld zichtbaar, wat leidt tot wijzigingen in de maximale stroomsnelheid. Binnen- en langs de vaarweg neemt de maximale stroomsnelheid op een aantal locaties toe met 0,1 - 0,2 m/s. In hoeverre deze verandering van de maximale stroomsnelheid langs de vaarweg acceptabel is, is ter beoordeling aan Rijkswaterstaat.

Naast het verschil in maxima, wijzigt het moment waarop de maximale stroomsnelheden optreden ook ten gevolge van het verschuiven van de grootschalige circulatiepatronen. Wanneer niet het verschil in maximale stroomsnelheid gedurende het volledige scenario wordt beschouwd, maar het verschil in stroomsnelheidsmagnitude op een vast moment in de tijd wordt bekeken (rondom het moment waarop de maxima optreden), levert dit een iets ander beeld op, zoals getoond in afbeelding 6.16. De conclusies blijven echter wel vergelijkbaar wanneer het verschil in maximale stroomsnelheidsmagnitude wordt beschouwd.

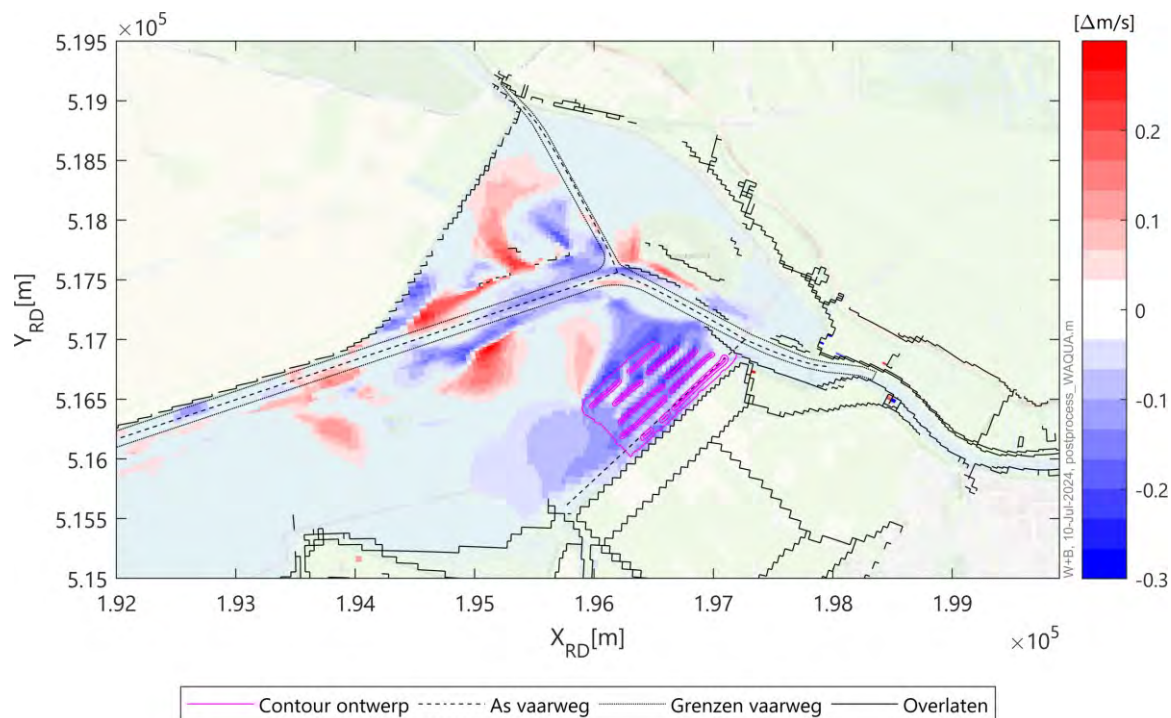
Opgemerkt wordt dat de maximale stroomsnelheid gedurende enkele uren tijdens een storm optreedt. Dit in tegenstelling tot periodes van hoge afvoer die dagen aanhouden.

De effecten op de stroming in de recreatieve vaargeul langs de zuidoostzijde van het zoekgebied zijn gebaseerd op expert judgement: Op de grenzen van de recreatieve vaargeul wordt geen verslechtering verwacht met betrekking tot dwarsstroom. In het afvoergedomineerde scenario zijn de verschillen te verwaarlozen. In het stormgedomineerde scenario neemt de stroomsnelheid hier lokaal juist af.

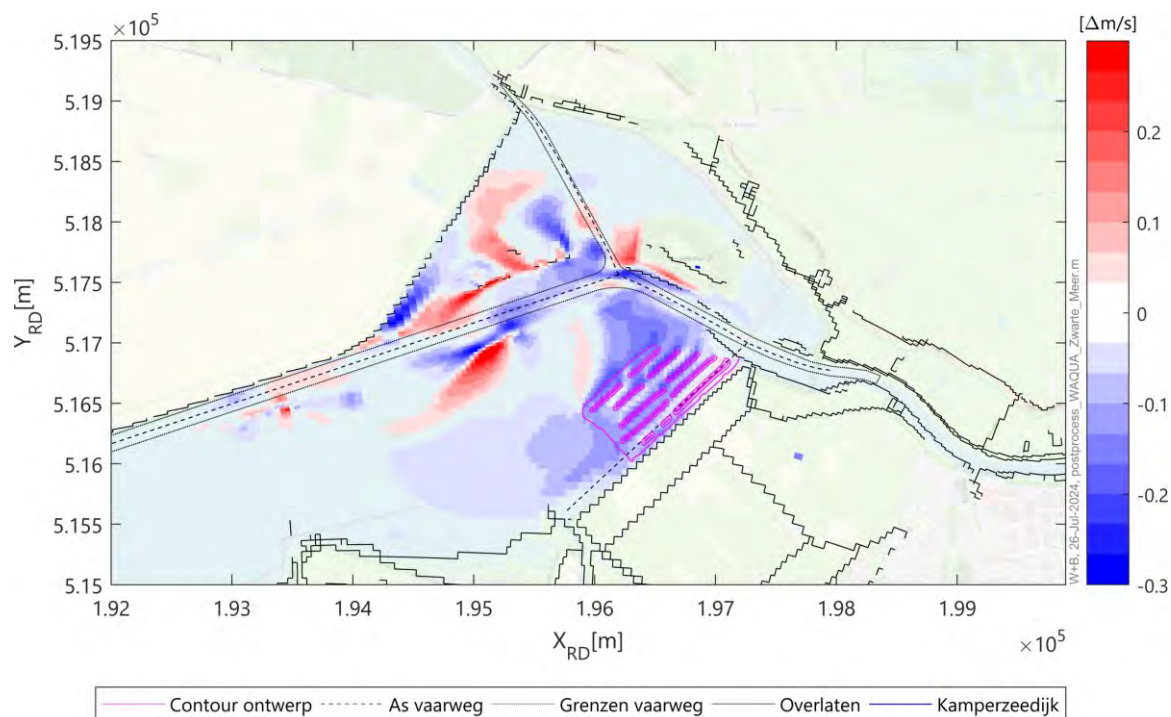
Afbeelding 6.14 Maximaal stroombeeld rondom zoekgebied 14 bij een IJsselaflow van 280 m³/s, een Vechtaflow van 50 m³/s en een IJsselmeerpeil van NAP -0,1 m, een stormverloop naar 24 m/s (DIR 270N), en een gesloten Ramspolkering



Afbeelding 6.15 Verschil in maximaal stroombeeld rondom zoekgebied 14 ten opzichte van de referentie bij een IJsselafvoer van 280 m³/s, een Vechtafvoer van 50 m³/s en een IJsselmeerpeil van NAP -0,1 m, een stormverloop naar 24 m/s (DIR 270N), en een gesloten Ramspolkering



Afbeelding 6.16 Verschil in stroombeeld op het tijdstip waarop in het grootste deel van het Zwarte Meer de maximale stroomsnelheid optreedt, rondom zoekgebied 14 ten opzichte van de referentie bij een IJsselafvoer van 280 m³/s, een Vechtafvoer van 50 m³/s en een IJsselmeerpeil van NAP -0,1 m, een stormverloop naar 24 m/s (DIR 270N), en een gesloten Ramspolkering

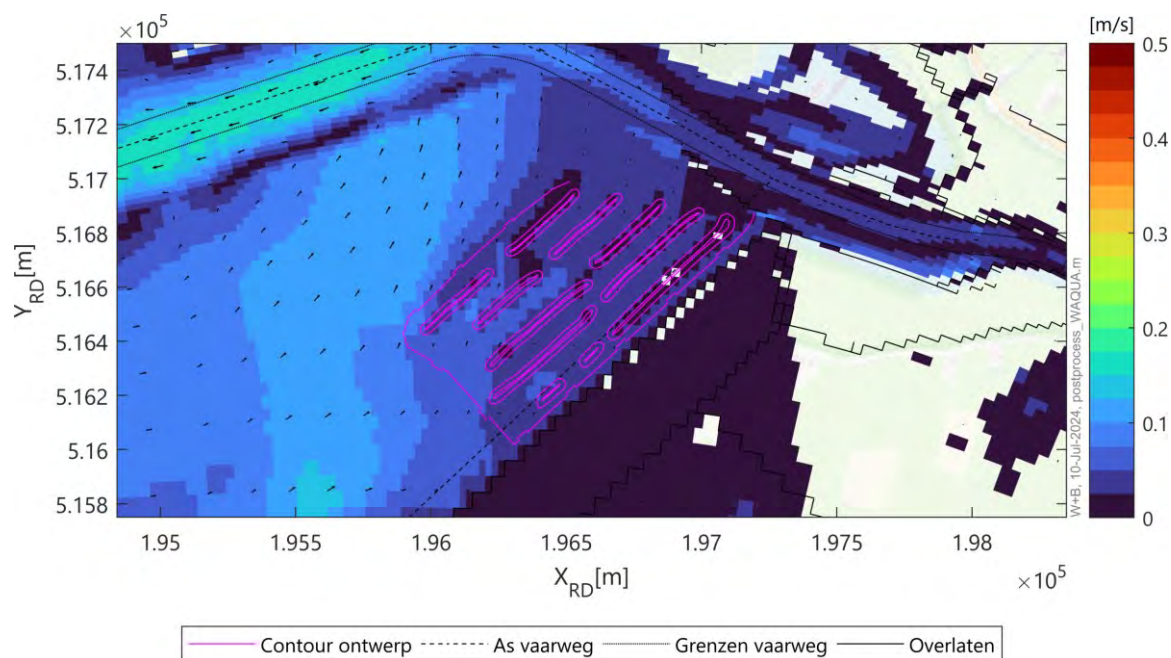


6.3.3 Mate van doorstroming

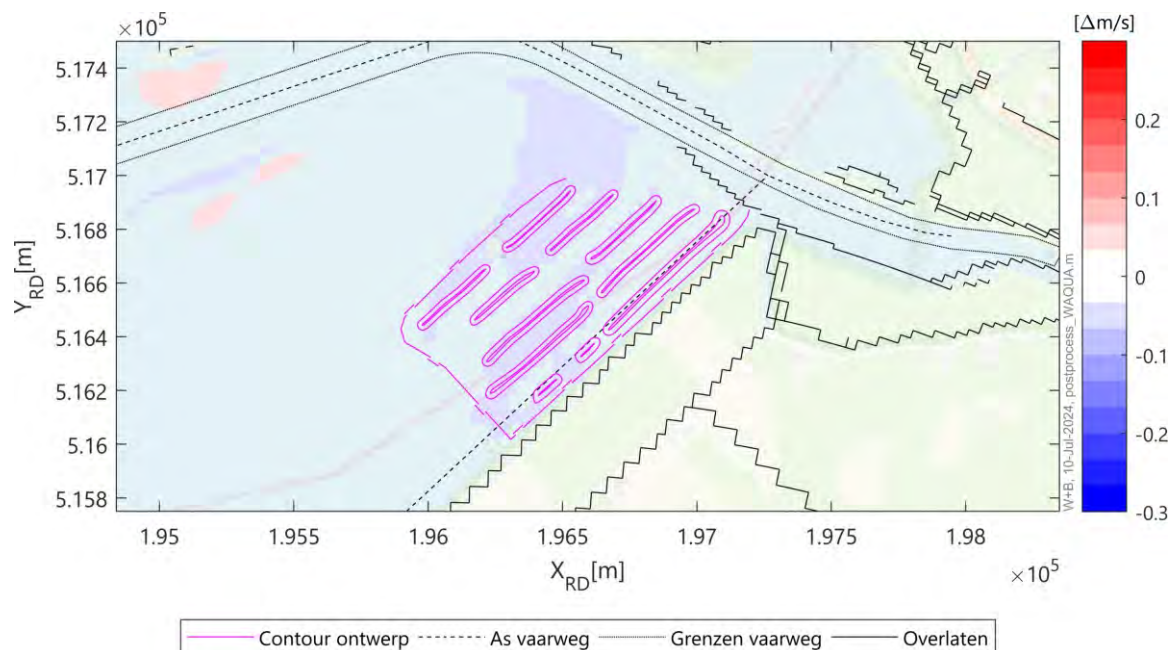
Onder gemiddelde omstandigheden treden er binnen het zoekgebied stroomsnelheden op van rond de 0,1 m/s. Door de aanwezigheid van de rijshouten dam en de eilanden, neemt de stroomsnelheid binnen het zoekgebied af met maximaal 0,05 m/s. De resterende stroomsnelheidsmagnitude tussen de eilanden is in de orde van 0,05 - 0,1 m/s, waardoor er nog steeds doorstroming mogelijk is. Bij deze condities is de gemiddelde verblijftijd van het water tussen richels ingeschat op orde van grootte 3 tot 6 uur.

De rijshouten dammen zijn in het ontwerp getrapt geplaatst, waardoor er stroming mogelijk is door de dammen. Omdat dit wegens de roosterresolutie een sub-grid feature is, wordt de mate van doorstroming in het model naar verwachting onderschat.

Afbeelding 6.17 Stroombeeld rondom zoekgebied 14 bij een IJsselafvoer van 314 m³/s, een Vechtafvoer van 10 m³/s en een IJsselmeerpeil van NAP -0,2 m, een uniforme windsnelheid van 5,7 m/s (DIR 240N)



Afbeelding 6.18 Verschil in stroombeeld rondom zoekgebied 14 ten opzichte van de referentie bij een IJsselafvoer van 314 m³/s, een Vechtafvoer van 10 m³/s en een IJsselmeerpeil van NAP -0,2 m, een uniforme windsnelheid van 5,7 m/s (DIR 240N)



6.3.4 Effecten op zoetwaterbuffer

Voor de effecten op de zoetwaterbuffer is het verlies ingeschat aan de hand van volume grond dat wordt aangebracht binnen de bandbreedte van het zomerpeil (NAP -0,1 m - NAP -0,3 m). De hoogteligging van het VKA bevindt zich binnen deze bandbreedte en leidt dus tot een afname van de zoetwaterbuffer. Dit is weergegeven in tabel 6.3. Hier is geen criterium op van toepassing, omdat het overstroombare natuur betreft. Ten opzichte van de huidige zoetwaterbuffer van het Zwarte Meer (met een oppervlak van 17 km² [ref. 19]) is de afname in zoetwaterbuffer verwaarloosbaar (< 1 %).

Tabel 6.3 Inschatting effecten op zoetwaterbuffer Zwarte Meer

Zoekgebied	Gemiddeld verlies aan watervolume binnen bandbreedte zomerpeil [m ³]
Zwarte Meer zoekgebied 14	3.000 - 5.000

6.4 Morfologische effecten

6.4.1 Inleiding

De morfologische effecten die optreden ten gevolge van het ontwerp voor zoekgebied 14 worden in kaart gebracht aan de hand van twee scenario's (tabel 6.4). Beide scenario's representeren condities met een overschrijdingskans van 1/1 per jaar. Het eerste scenario is afvoergedomineerd. Tijdens het tweede stormgedomineerde scenario treedt er een storm op uit het Westen.

Tabel 6.4 Overzicht van uitgevoerde simulaties ter beoordeling van morfologische ten gevolge van het ontwerp voor zoekgebied 14 in het Zwarte Meer

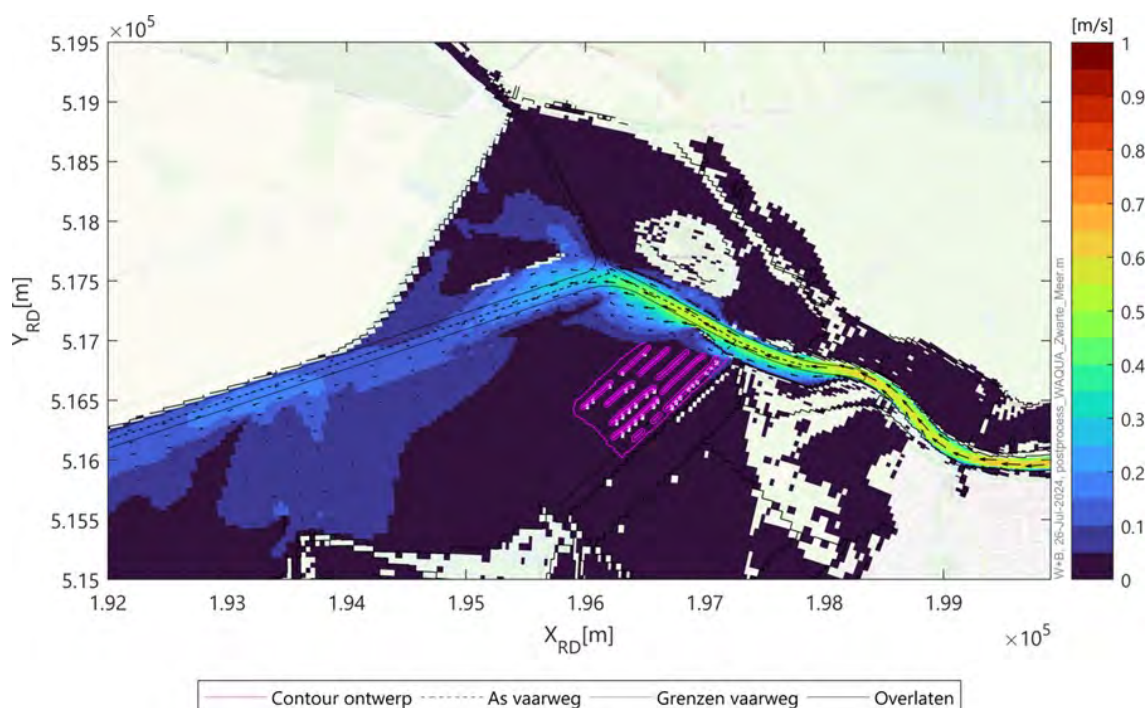
Scenario en statistiek	Storm/wind	Rivierafvoer	Initiële waterstand	Betreffende afbeelding
[1] Stroming 1/1 jaar	-	800 m ³ /s IJssel 239 m ³ /s Vecht	-0,4 m NAP IJsselmeerpeil	afbeelding 6.19 (absoluut) afbeelding 6.20 (verschil)
[2] Stroming 1/1 jaar	14,3 m/s verloop richting 270 N	-	-0,4 m NAP IJsselmeerpeil	afbeelding 6.21 (absoluut) afbeelding 6.22 (verschil)

6.4.2 Effecten op stroming

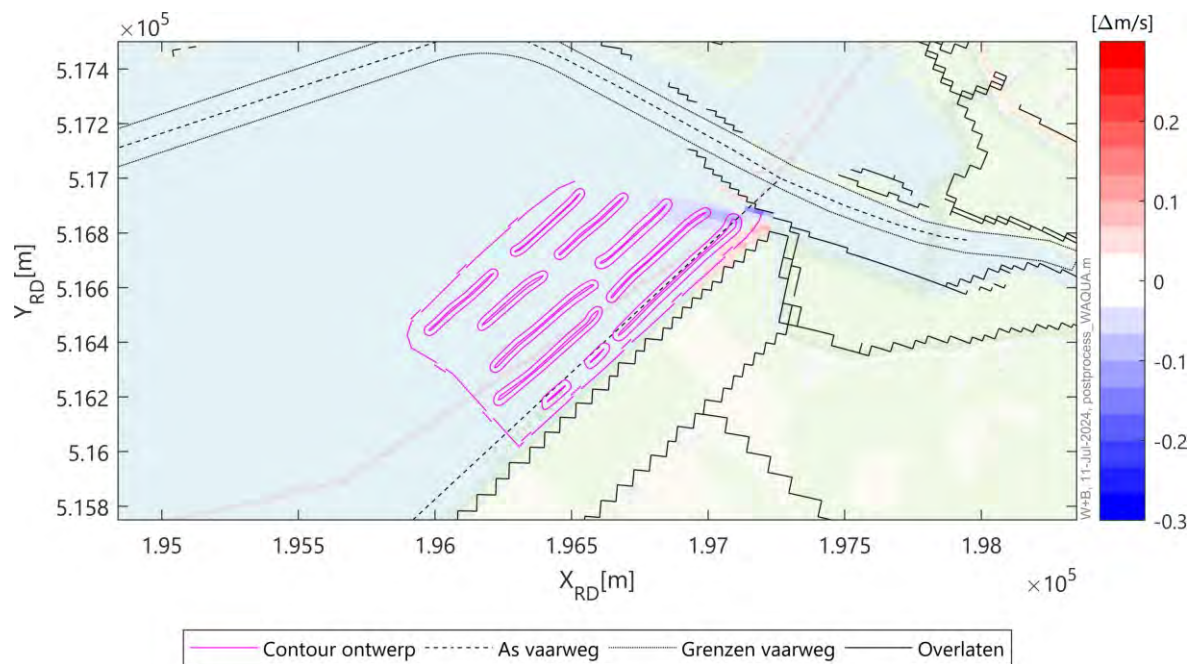
Het water dat in het afvoergedomineerde scenario het Zwarte Water verlaat, mondt ook in dit scenario deels uit door de opening in de strektdam richting de recreatievaargeul (afbeelding 6.19). Merkbare veranderingen in stroombeeld treden enkel langs de noordoostelijke hoek van zoekgebied 14 op (afbeelding 6.20). Maximale veranderingen in stroomsnelheid zijn in de orde van 0,1 m/s. Binnen de grenzen van de vaarweg van het Zwarte Water zijn veranderingen in stroomsnelheid kleiner dan 0,03 m/s tijdens een rivierafvoer van 1/1 per jaar.

Ook bij een storm uit het Westen, ontstaan op het Zwarte Meer grootschalige neren in het stroombeeld, die deels worden geblokkeerd door het ontwerp in zoekgebied 14 (afbeelding 6.21). De maximale stroomsnelheden hebben een magnitude van hooguit 0,5 m/s. Ten gevolge van het ontwerp in zoekgebied 14 vertragen de maximale stroomsnelheid binnen- en in de directe omgeving van het zoekgebied met 0,10 - 0,15 m/s (afbeelding 6.22). Enkel langs de westelijke hoek van het zoekgebied versnelt de stroming door lokale contractie met maximaal 0,10 m/s. Verderaf van het zoekgebied treden beperkte veranderingen in het stroombeeld op van maximaal 0,05 - 0,10 m/s. In de vaargeul neemt de maximale stroomsnelheid af met 0,05 m/s. Verwacht wordt dat dit een beperkt effect heeft op de morfologie, omdat deze maximale stroomsnelheid slechts een aantal uren tijdens een storm aanhoudt.

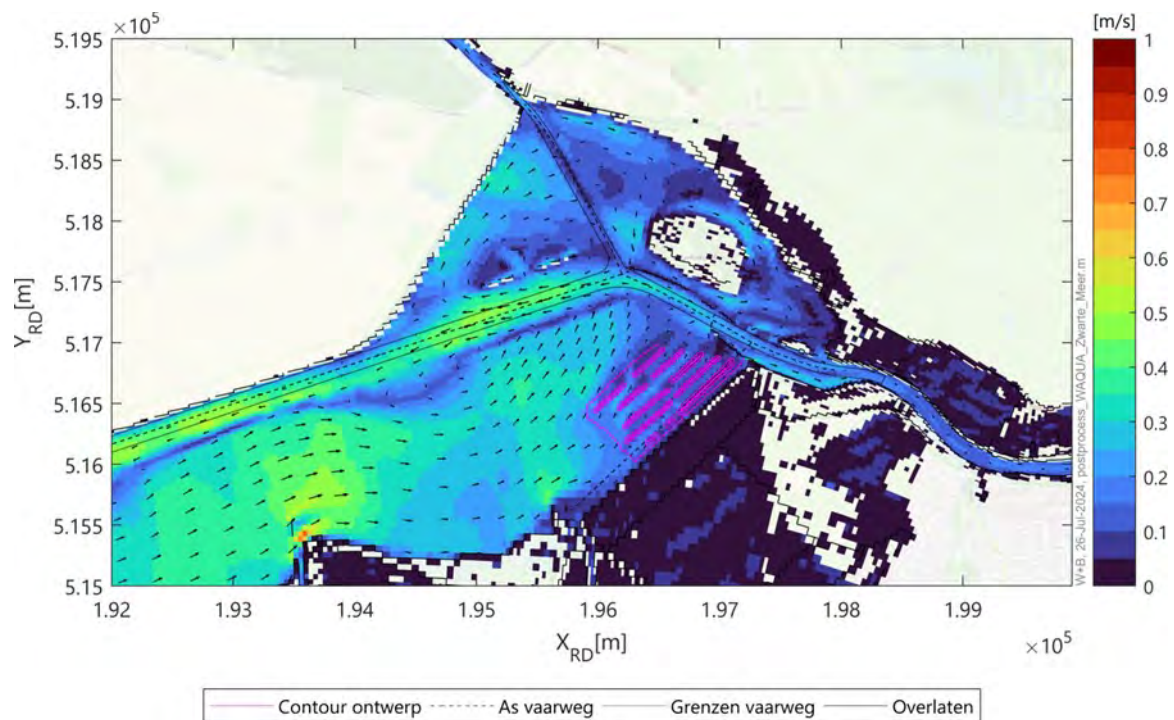
Afbeelding 6.19 Stroombeeld rondom zoekgebied 14 bij een IJsselafvoer van 800 m³/s, een Vechtafvoer van 239 m³/s en een IJsselmeerpeil van NAP -0,4 m, zonder windforcering



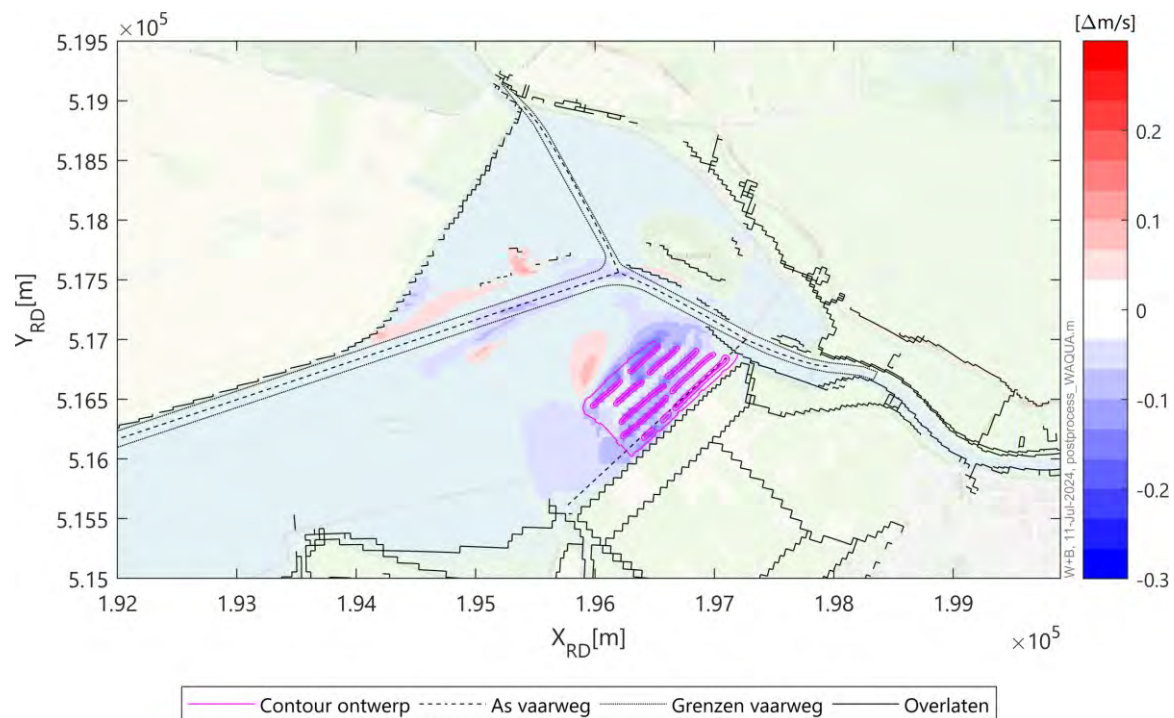
Afbeelding 6.20 Verschil in stroombeeld rondom zoekgebied 14 ten opzichte van de referentie bij een IJsselafvoer van 800 m³/s, een Vechtafvoer van 239 m³/s en een IJsselmeerpeil van NAP -0,4 m, zonder windforcering



Afbeelding 6.21 Maximaal stroombeeld rondom zoekgebied 14 bij een IJsselafvoer van 0 m³/s, een Vechtafvoer van 0 m³/s en een IJsselmeerpeil van NAP -0,4 m, een stormverloop naar 14,3 m/s (DIR 270N)



Afbeelding 6.22 Verskil in maximaal stroombeeld rondom zoekgebied 14 ten opzichte van de referentie bij een IJsselafvoer van $0 \text{ m}^3/\text{s}$, een Vechtafvoer van $0 \text{ m}^3/\text{s}$ en een IJsselmeerpeil van NAP -0,4 m, een stormverloop naar $14,3 \text{ m/s}$ (DIR 270N)



6.4.3 Effecten op windgolven

Zoals besproken in paragraaf 6.2.4 leidt de aanwezigheid van de rijshouten dammen en eilanden zoekgebied 14 tot een beperkte lokale afname van de golfhoogte tijdens extreme condities. Dit leidt ook tot een geringe reductie van de golfhoogte in het Zwarte Water. Opgemerkt wordt dat bij de beschouwde condities een extreme waterstand optreedt van NAP +1,4 m. Bij deze waterstand staan zowel de rijshouten dam als de richels ruim onder water: de waterdiepte boven de rijshouten dam is dan 1,1 m (kruin op NAP +0,3 m) en de waterdiepte boven de richels is dan 1,6 m (kruin op NAP -0,2 m).

6.4.4 Inschatting morfologische effecten

Gebied buiten ingreep

De afvoergedomineerde situaties tonen aan dat de te verwachte morfologische effecten vooral lokaal binnen het zoekgebied zullen optreden. De scenario's waarin stormcondities voorkomen laten grootschaligere wijzigingen in het stroombeeld zien. Echter zijn de veranderingen dusdanig klein, en de duur waarop deze veranderingen optreden dermate kort, dat er geen noemenswaardige morfologische veranderingen worden verwacht in de vaargeul.

In de recreatieve vaargeul ten zuiden van het zoekgebied zullen de morfologische effecten verwaarloosbaar zijn. Ook al neemt de stroomsnelheid ter plaatse van de geul af, worden door de al beperkte sedimenttransportcapaciteit in de referentiesituatie geen significante morfologische veranderingen verwacht.

Projectgebied

Windgolven kunnen in potentie leiden tot morfologische effecten langs de oevers en de kruin van de ontworpen richels. Voor de morfologische effecten is de tijdelijke situatie waarbij de richels nog onbegroeid / gedeeltelijk begroeid zijn maatgevend. We vergelijken de bodemschuifspanning (maat voor belasting) met de kritische bodemschuifspanning (maat voor de erosiebestendigheid). Bij zoekgebied 14 in het Zwarte Meer bestaat het natuurlijke bodemmateriaal uit kleiarm zand en lichte zavel. De kritische bodemschuifspanning is 0,24 Pa voor kleiarm zand en 0,40 Pa voor lichte zavel [ref. Witteveen+Bos (2023a)].

Tijdens dagelijkse omstandigheden (met waterstanden rond het gemiddelde) wordt de golfenergie die het zoekgebied binnentreedt echter gelimiteerd door de rijshouten dammen, waardoor erosie van de richels dan voorkomen wordt. Tijdens extreme condities laten de rijshouten dammen een groot deel van de golven passeren. De resulterende bodemschuifspanning is dan 0,4 Pa bij de richels met een kruin op NAP -0,7 m tot 0,6 Pa bij de richels met een kruin op NAP -0,7 m bij T100 jaar. Deze resulterende bodemschuifspanning op de richels is relatief beperkt door de (hogere waterstand en) grotere waterdiepte en daarmee iets groter dan de kritische bodemschuifspanning (0,24 - 0,4 Pa) van de onbegroeide richels. Enige erosie van de richels is tijdens stormen niet uit te sluiten en zou kunnen leiden tot afvlakking van de richels. Als gevolg van de geringe stroomsnelheden binnen het zoekgebied zal het sediment naar verwachting op de taluds van de richels reeds bezinken.

Daarnaast zijn de oevers beplant met riet, wat de erosiebestendigheid van de oevers vergroot. In de eerste jaren na aanleg, wanneer het riet nog in ontwikkeling is, wordt geadviseerd de stabiliteit van de ingreep te monitoren.

CONCLUSIES EN AANBEVELINGEN

7.1 Introductie

Deze rapportage beschrijft de hydraulische en morfologische effecten van het voorkeursalternatief (VKA) van KRW 3^e tranche IJsselmeergebied. In deze rapportage zijn voor de beoogde maatregelen in drie verschillende zoekgebieden diverse scenario's gemodelleerd met stromings- en golfmodellen om een inschatting te maken van de hydrodynamische- en morfologische effecten die optreden ten gevolge van de ingrepen.

Specifiek zijn effecten beoordeeld voor de volgende drie aspecten:

- 1 Hoogwaterveiligheid;
- 2 hinder en schade door hydraulische effecten;
- 3 morfologische effecten.

De conclusies worden hierna per zoekgebied toegelicht.

7.2 Conclusies en aanbevelingen

Eemmeer

Het VKA voor zoekgebied 4 in het Eemmeer heeft geen significante invloed op hoogwaterstanden. Echter leidt het VKA wel tot een afname in zoetwaterbuffer van 5.000 tot 10.000 m³. Dit is een verwaarloosbare afname ten opzichte van de totale zoetwaterbuffercapaciteit (< 1 %).

Wat betreft het stroombeeld treden enkel veranderingen op binnen- en in de directe omgeving van het zoekgebied. Er worden daarom geen negatieve effecten verwacht die hinder of schade vormen.

Ter plaatse van het zoekgebied ontstaat meer stromingsluwte dan in de referentiesituatie. Echter is de verwachting dat de lokale sedimenttransportcapaciteit dermate laag is dat er ook binnen het zoekgebied geen grootschalige morfologische effecten worden verwacht.

De rijshoutendammen langs de buitenste eilanden zorgen voor voldoende golfdemping waardoor de stabiliteit van de eilanden en oevers kan worden gegarandeerd tijdens de eerste jaren wanneer het aangeplante riet nog niet volwassen is.

Ketelmeer

Hoogwaterveiligheid

Het VKA in zoekgebied 11 leidt onder de gesimuleerde hoogwaterveiligheidscondities tot een verandering in de maximale waterstand direct langs het zoekgebied. De maximale waterstand neemt over een lengte van enkele honderden meters langs de zuidelijke kering (dijktraject 8-4) toe met maximaal 2 mm. Hierover moet afstemming plaatsvinden met de beheerder van de waterkering.

Langs de oostelijke zijde van het zoekgebied neemt de maximale waterstand af. Langs de westzijde van het Kampereiland (vanaf de monding van de IJssel tot aan de Ramspolkering, dijktraject 225) en aan de waterkering aan de noordzijde van het Ketelmeer (dijktraject 7-2) bedraagt de afname in maximale waterstand hoogstens 2 mm. Ook in de IJssel is deze waterstandsvaling merkbaar.

Ten slotte leidt de KRW-maatregel tot een afname van de significante golfhoogte van 0,1 - 0,2 m aan de luwzijde van het zoekgebied, relatief aan de golfrichting.

Hinder of schade door hydraulische effecten

Veranderingen in stroombeeld treden enkel op in de directe omgeving van het zoekgebied en zijn tot enkele honderden meters vanaf het zoekgebied merkbaar. Een deel van de IJsselaafvoer stroomt via twee takken via de noord- en zuidkant langs het zoekgebied. Langs de hoekpunten leidt het ontwerp tot een toename in stromingscontractie, waardoor de maximale stroomsnelheid toeneemt met ongeveer 0,1 m. Ook ontstaat hierdoor aan de westzijde van het zoekgebied een toename in stromingsluwte, waar de maximale stroomsnelheid afneemt met ongeveer 0,1 m/s. Veranderingen in stroombeeld binnen de grenzen van aanwezige vaargeulen zijn verwaarloosbaar.

Binnen de geulen van de maatregel neemt de maximale stroomsnelheid onder gemiddelde condities af met maximaal 2 cm/s. De mate van doorstroming wordt dus minder binnen het zoekgebied.

Het ontwerp leidt tot een afname in zoetwaterbuffer van 8.000 - 10.000 m³. Dit is een verwaarloosbare afname ten opzichte van de totale zoetwaterbuffercapaciteit (< 1 %).

Morfologische effecten

Ondanks dat er, met name langs de noordelijke en zuidelijke punten van het zoekgebied veranderingen optreden in stroomsnelheid, blijft de absolute stroomsnelheid onder gemiddelde condities hier tussen 0,2 en 0,3 m/s, waardoor hier geen verandering in morfologische ontwikkelingen wordt verwacht. Aan de westzijde van het zoekgebied neemt de stromingsluwte toe. Ondanks dat de lokale sedimenttransportcapaciteit zeer gering is door de lage lokale stroomsnelheden, is het mogelijk dat er tot in beperkte mate meer zwevend sediment zal neerslaan. Deze mogelijke sedimentatie is echter buiten de vaargeulen.

Windgolven kunnen leiden tot beperkte morfologische effecten langs de oevers en de kruin van de ingreep. Tijdens dagelijkse omstandigheden (met waterstanden rond het gemiddelde) wordt de golfenergie die het zoekgebied binnentreedt echter gelimiteerd door de rijshouten dammen, waardoor erosie van de richels voorkomen wordt. Tijdens extreme condities laten de rijshouten dammen een groot deel van de golven passeren. Echter is dan de resulterende bodemschuifspanning op de richels relatief laag door de grotere waterdiepte en daarmee in dezelfde orde van grootte als de kritische bodemschuifspanning van onbegroeide richels. Enige erosie van de richels is niet uit te sluiten, maar is naar verwachting beperkt.

Daarnaast zijn de oevers beplant met riet, wat de erosiebestendigheid van de oevers vergroot. In de eerste jaren na aanleg, wanneer het riet nog in ontwikkeling is, wordt geadviseerd de stabiliteit van het ontwerp te monitoren.

Zwarte Meer

Hoogwaterveiligheid

Effecten op de hoogwaterveiligheid ten gevolge van het VKA voor zoekgebied 14 in het Zwarte Meer zijn in kaart gebracht aan de hand van enkele CIP-scenario's. Voor deze scenario's is een gewogen gemiddelde

toegepast om de veranderingen in maximale waterstand op het Zwarte Water in kaart te brengen. De gewogen effecten leiden tot een afname in maximale waterstand van 2 - 3 mm over het gehele Zwarte Water.

De waterstandseffecten in het tweedimensionale vlak zijn voor de CIP-scenario's per scenario beschouwd. Met name het eerste CIP-scenario (stormgedomineerd, onder extreme condities), toont dat het ontwerp de grootschalige, windgedreven circulatie van het water binnen het Zwarte Meer gedeeltelijk blokkeert, waardoor de posities van de neren verschuift en lokaal een toe- en afname in maximale waterstand tot 10 - 12 mm wordt waargenomen. Via het geulensysteem aan de zuidzijde van het Zwarte Meer werkt de waterstandsverandering zich door richting de Kamperzeedijk, waar lokaal een opstuwing wordt waargenomen van 5 - 6 mm. Echter heeft het ontwerp voor dit scenario een positief effect op de maximale waterstand op de benedenrand van het Zwarte Water. Deze neemt namelijk af met 8 mm doordat een storm iets minder makkelijk het Zwarte Water binnendringt. Voor het afvoergedomineerde CIP-scenario, wordt de verspreiding van het water dat vanuit het Zwarte Water in het Zwarte Meer in zuidelijke richting uitmondt deels geblokkeerd, waardoor een toename in waterstand op het Zwarte Water wordt waargenomen van maximaal 2 mm. In het afvoergedomineerde scenario treedt er langs de Kamperzeedijk geen merkbare opstuwing op. De effecten op hoogwaterveiligheid moeten voorgelegd worden aan de beheerders van de waterkeringen.

Ook zorgt het ontwerp onder extreme condities voor een afname in lokale significante golfhoogte van 5 - 25 cm. De reductie van de golfhoogte is vooral binnen de contouren van het zoekgebied, en over enkele honderden meters op het Zwarte Water merkbaar.

Hinder of schade door hydraulische effecten

Voor de afvoergedomineerde situaties zijn veranderingen in het stroombeeld beperkt en enkel merkbaar in de noordoostelijke zijde van het zoekgebied. De veranderingen in stroombeeld in de hoogwatergeul en vaarweg zijn verwaarloosbaar in dit scenario.

Voor de windgedomineerde scenario's, waar de grootschalige circulatie van het water deels wordt geblokkeerd door het ontwerp, zijn grotere verschillen in stroomsnelheid waarneembaar. In de directe omgeving van het zoekgebied neemt de stroomsnelheid af tot 0,3 m/s. Binnen- en langs de vaarweg neemt de maximale stroomsnelheid op een aantal locaties toe tot 0,1 - 0,2 m/s. Opgemerkt wordt dat de maximale stroomsnelheid gedurende enkele uren tijdens een storm optreedt. Dit in tegenstelling tot periodes van hoge afvoer die dagen aanhouden. In hoeverre deze toename van de maximale stroomsnelheid langs de vaarweg acceptabel is, is ter beoordeling aan Rijkswaterstaat.

Binnen de recreatieve vaargeul ten zuiden van het zoekgebied ontstaat geen hinder. De lokale stroomsnelheden nemen in het stormgedomineerde scenario af. In de afvoergedomineerde scenario's zijn de veranderingen verwaarloosbaar.

Verder leidt de aanwezigheid van de rijshouten dammen en de eilanden tot een afname in de mate van doorstroming. De stroomsnelheidsmagnitude tussen de eilanden neemt af met ongeveer 0,05 - 0,1 m/s. Bij zomercondities is de gemiddelde verblijftijd van het water tussen richels ingeschat op orde van grootte 3 tot 6 uur.

Het ontwerp leidt tot een afname in zoetwaterbuffer van 3.000 - 5.000 m³. Dit is een verwaarloosbare afname ten opzichte van de totale zoetwaterbuffercapaciteit (< 1 %).

Morfologische effecten

De afvoergedomineerde situaties tonen aan dat de te verwachte morfologische effecten vooral lokaal binnen het zoekgebied zullen optreden. De scenario's waarin stormcondities voorkomen laten grootschaligere wijzigingen in het stroombeeld zien. Echter zijn de veranderingen dusdanig klein, en de duur waarop deze veranderingen optreden dermate kort, dat er geen noemenswaardige morfologische veranderingen worden verwacht in de vaargeul.

Door de al beperkte, lokale sedimenttransportcapaciteit in de referentie binnen de recreatieve vaargeul ten zuiden van het zoekgebied, is de verwachting dat er geen significante morfologische veranderingen optreden in de vaargeul.

Windgolven kunnen leiden tot beperkte morfologische effecten langs de oevers en de kruin van de ontworpen richels. Voor de morfologische effecten is de tijdelijke situatie waarbij de richels nog onbegroeid / gedeeltelijk begroeid zijn maatgevend. Tijdens dagelijkse omstandigheden (met waterstanden rond het gemiddelde) wordt de golfenergie die het zoekgebied binnentreedt echter gelimiteerd door de rijshouten dammen, waardoor erosie van de richels dan voorkomen wordt. Tijdens extreme condities laten de rijshouten dammen een groot deel van de golven passeren. De resulterende bodemschuifspanning (0,4 tot 0,6 Pa) op de richels is dan relatief beperkt door de (hogere waterstand en) grotere waterdiepte en daarmee iets groter dan de kritische bodemschuifspanning (0,24 - 0,4 Pa) van de onbegroeide richels. Enige erosie van de richels is tijdens stormen niet uit te sluiten en zou kunnen leiden tot afvlakking van de richels. Als gevolg van de geringe stroomsnelheden binnen het zoekgebied zal het sediment naar verwachting op de taluds van de richels reeds bezinken.

Daarnaast zijn de oevers beplant met riet, wat de erosiebestendigheid van de oevers vergroot. In de eerste jaren na aanleg, wanneer het riet nog in ontwikkeling is, wordt geadviseerd de stabiliteit van het ontwerp te monitoren.

REFERENTIES

- 1 Deltares (2021). SWAN modelschematisatie Markermeer t.b.v. BOI en RWsOS. Kenmerk 11206813-013-ZWS-0001, definitief d.d. 5 november 2021. In opdracht van Rijkswaterstaat WVL.
- 2 Deltares (2021). Uniformering modelinvoer D-HYDRO modelschematisatie Markermeer. Kenmerk 11206813-012-ZWS-0004 d.d. 15 december 2021.
- 3 Deltares (2019). Ontwikkeling zesde-generatie Markermeer en Veluwerandmeren model. Kenmerk 11200569-009-ZS-0013 d.d. december 2019.
- 4 Deltares (2017). Basisstochasten WBI-2017; statistiek en statistische onzekerheid. Kenmerk 1209433-012-HYE-0007, versie 4, juni 2017.
- 5 Deltares (2016a). SWAN productieberekeningen IJssel-Vechtdelta. Kenmerk 1220082-001-HYE-0017, definitief versie 2, juni 2016. In opdracht van Rijkswaterstaat WVL.
- 6 Deltares (2016b). SWAN productieberekeningen Ketelmeer en Vossemeer; WBI 2017. Kenmerk 1220082-001-HYE-0010, definitief versie 2, 27 juni 2016. In opdracht van Rijkswaterstaat WVL.
- 7 Deltares (2015). Tests SWAN model for river delta Vecht-IJssel; Preparation for SWAN production runs WTI 2017. Reference 1209433-001-HYE-0036, final version 2, feb 2015. Client: Rijkswaterstaat WVL.
- 8 Deltares (2015). Modelschematisaties IJsselmeer-Vecht-IJsseldelta; B&O-model 2014, WTI2017-model en actueel model. Kenmerk 1209449-007 -ZWS-0004 versie 2 d.d. maart 2015.
- 9 Deltares (2012). Waterstandsverloop Meren. Kenmerk 1204143-003-ZWS-0027, 4 juli 2012, definitief.
- 10 Reeze, B., A. van Winden, J. Postma, R. Pot, J. Hop en W. Liefveld, 2017. Watersysteemrapportage Rijntakken 1990-2015. Ontwikkelingen waterkwaliteit en ecologie.
- 11 Rijkswaterstaat (2023). Rivierkundig Beoordelingskader voor ingrepen in de Grote Rivieren. Versie 6.0 d.d. 23 januari 2023.
- 12 Waterschap Vechtstromen (WVS, 2017). Achtergronddocument watersysteemanalyse Vecht; Van visie naar Ontwerp. Definitief, juli 2017.
- 13 Witteveen+Bos (2024a). Planuitwerking KRW 3^e tranche IJsselmeergebied; deelrapport Voorlopig Ontwerp (Fase 3, WP34). Concept in bewerking.
- 14 Witteveen+Bos (2023a). Planuitwerking KRW 3^e tranche IJsselmeergebied; Deelrapport huidige situatie hydraulische en morfologische toestand en autonome ontwikkelingen (Fase 1, werkpakket 6 en 7). Referentie 131294-WP6+WP7/23-003.366, definitief 02, 22 februari 2023.
- 15 Witteveen+Bos (2023b). Planuitwerking KRW 3^e tranche IJsselmeergebied; Deelrapport hydraulisch en morfologisch effectenonderzoek (Fase 2, werkpakket 14). Referentie 131294-WP14/23-014.402, definitief, 7 september 2023.
- 16 Bkl: Besluit kwaliteit leefomgeving: <https://wetten.overheid.nl/BWBR0041313/2024-07-01>.
- 17 Omgevingsbesluit: <https://wetten.overheid.nl/BWBR0041278/2024-07-01>.
- 18 Wijmans, P.A.D.M., Derks, E.T., en de Boer, M. (2019). Visserij onderzoek Zuidelijke Randmeren Gooimeer, Eemmeer en Nijkerkernauw; Tussenrapport Jaar 1 (2018/2019).
- 19 Rijkswaterstaat (2023). Zwarte Meer: <https://www.rijkswaterstaat.nl/water/vaarwegenoverzicht/zwarte-meer>.
- 20 Rijkswaterstaat (2024). Vaarwegen in Nederland (Augustus 2024).
- 21 Rijkswaterstaat (2023). Voorstel scenario's RBK toetsing KRW-MN Ketelmeer-Zwartemeer. (d.d. 13 oktober 2023).

Bijlage(n)

BIJLAGE: HYDRAULISCHE MODELLERING TEN BEHOEVE VAN ONTWERP EEMMEER

I.1 Inleiding

Voor de effectenbeoordeling is als basis de Baselineschematisatie baseline-markermeer-beno19_6-v1 beschouwd. Voor deze modelschematisatie was het niet nodig om de referentie te actualiseren (c.q. verbeteren). Het daaruitvolgende D-HYDRO-model van de referentiesituatie is de schematisatie dflowfm2d-markermeer-beno19_6-v1a.

I.2 Beoordeling morfologische effecten op het ontwerp

De volgende morfologische effecten zijn beschouwd ter onderbouwing van het ontwerp:

- het analyseren van de **sedimentatie** ter plekke en rondom de voorkeursvarianten, op basis van lokale vertragsingsgebieden en golfvelden, in combinatie met expert judgement;
- het definiëren van de **sterkte en erosiebestendigheid** van de oeverinrichting van voorkeursvarianten op basis van de stroombeelden en golfvelden (als gevolg van windgolven en stroomsnelheden). Het doel hiervan is dat de inrichtingsmaatregelen in de voorkeursvarianten **duurzaam effectief** zijn: op de lange termijn blijft de maatregel stabiel en verliezen deze hun functie niet.

De morfologische effecten hebben ook onderdeel uitgemaakt van het ontwerpproces. Zo is in de hoogte van de rijshouten dammen de lokaal optreden significante golfhoogte in beschouwing genomen.

Morfologische effecten zijn kwalitatief beoordeeld op basis van hydrodynamische simulaties. De hiervoor beschouwde scenario's zijn samengevat in Tabel I.1.

Tabel I.1 Overzicht van de beschouwde modelscenario's ten behoeve van de toetsing van de morfologische effecten op het ontwerp

Scenario en Statistiek	Storm/wind	Rivierafvoer Eem	Initiële Waterstand	Betreffende afbeelding
[1] Stroming 1/1 per jaar storm i.c.m. gemiddelde afvoer	17,5 m/s verloop (9 uur - 4 uur piek - 9 uur) richting 240 N	4 m ³ /s	-0,4 m NAP (winterpeil)	afbeelding 4.5 (absoluut) afbeelding 4.6 (verschil)
[2] Stroming 1/1 per jaar storm i.c.m. gemiddelde afvoer	13,3 m/s verloop (9 uur - 4 uur piek - 9 uur) richting 300 N	4 m ³ /s	-0,4 m NAP (winterpeil)	afbeelding 4.7 (absoluut) afbeelding 4.8 (verschil)
[3] Stroming T100 jaar storm i.c.m. extreme afvoer	19,1 m/s verloop (9 uur - 4 uur piek - 9 uur) richting 240 N	70 m ³ /s	-0,4 m NAP (winterpeil)	afbeelding I.1 (absoluut) afbeelding I.2 (verschil)
[4] Stroming T100 jaar storm i.c.m. extreme afvoer	18,3 m/s verloop (9 uur - 4 uur piek - 9 uur) richting 300 N	70 m ³ /s	-0,4 m NAP (winterpeil)	afbeelding I.3 (absoluut) afbeelding I.4 (verschil)

Scenario en Statistiek	Storm/wind	Rivierafoer Eem	Initiële Waterstand	Betreffende afbeelding
[5] Windgolven T100 jaar	11,7 m/s (uniform) richting 90 N	-	-0,29 m NAP (gemiddeld peil)	afbeelding 4.9 (absoluut) afbeelding 4.10 (verschil)

Alle beschouwde scenario's die zijn gesimuleerd met het stromingsmodel tonen een lokale vertraging van de stroomsnelheid binnen- en direct rondom de zoekgebieden. Er ontstaat dus meer luwte. Gezien de beperkte stroomsnelheid in de referentiesituatie, zal er vrijwel geen bodemtransport plaatsvinden, maar worden de morfologische veranderingen in het gebied gedomineerd door zwevend transport. Door de toename van luwte binnen het zoekgebied, zal er mogelijk meer zwevend sediment uitzakken.

Het scenario met windgolven toont aan dat de lokale inkomende golven een significante golfhoogte hebben van 0,35 m. Door de aanwezigheid van de rijshouten dam en de eilanden neemt de significante golfhoogte af met maximaal 0,3 m. De golfdemping die wordt bereikt met de rijshoutdammen is naar verwachting voldoende om de stabiliteit van de eilanden en oevers te garanderen tijdens de periode dat de vegetatie nog in ontwikkeling is. Als de vegetatie ontwikkeld is, zorgt de vegetatie voor stabiliteit van de eilanden en oevers.

Aanbevolen wordt om tijdens de eerste jaren de ontwikkeling van de vegetatie en de stabiliteit van de eilanden te monitoren.

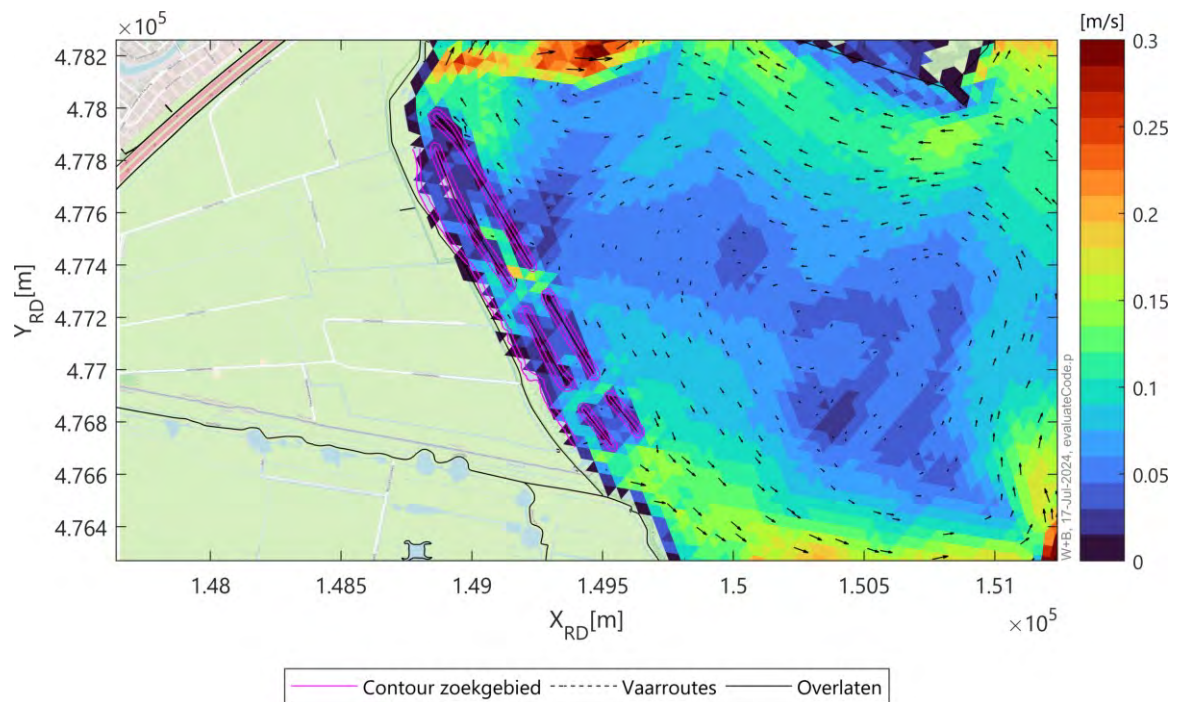
I.3 Ontwerpuitgangspunten rijshouten dam

Aan de hand van de hydrodynamische modellering zijn hydraulische ontwerpuitgangspunten voor de rijshouten dam vastgesteld, horende bij een overschrijdingskans van 1/100 jaar. Deze zijn samengevat in Tabel I.2.

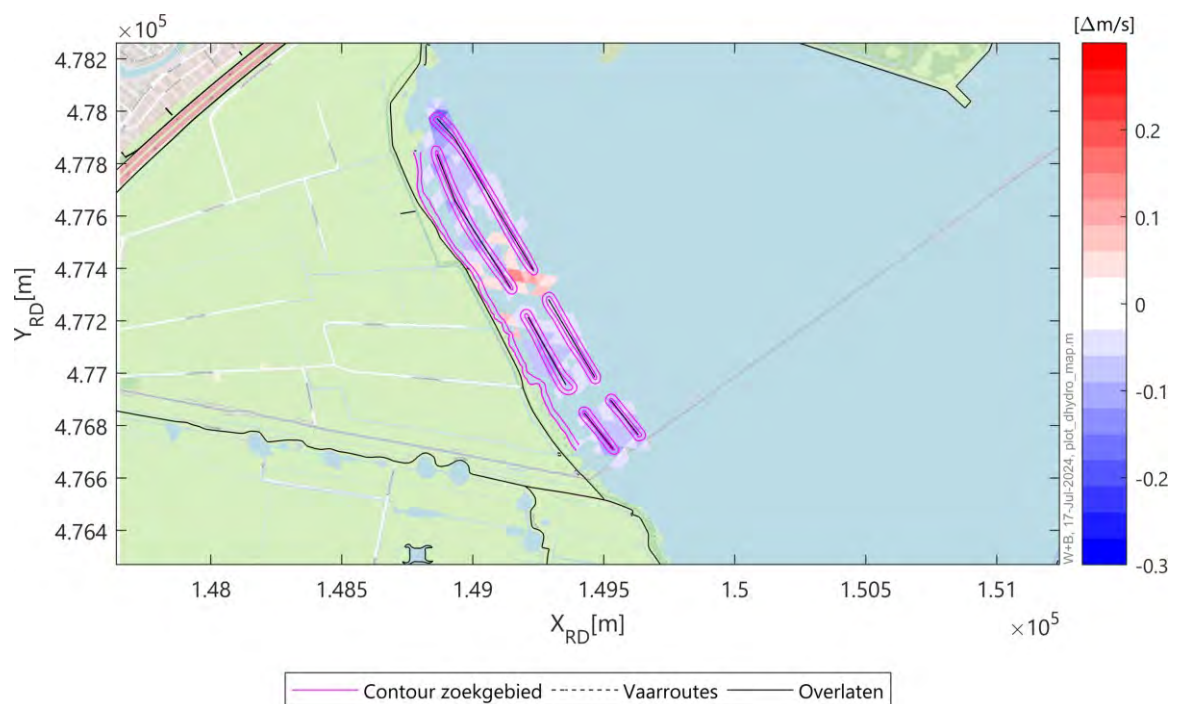
Tabel I.2 Hydraulische ontwerpuitgangspunten voor de rijshouten dam

Eigenschap	Waarden
significante golfhoogte H_s	0,35 m
piekperiode T_p	2,6 s
stroomsnelheid	0,2 m/s
waterstand	NAP -0,3 m
kruinhoogte	NAP +0,8 m
hoogte teen	NAP -0,7 m

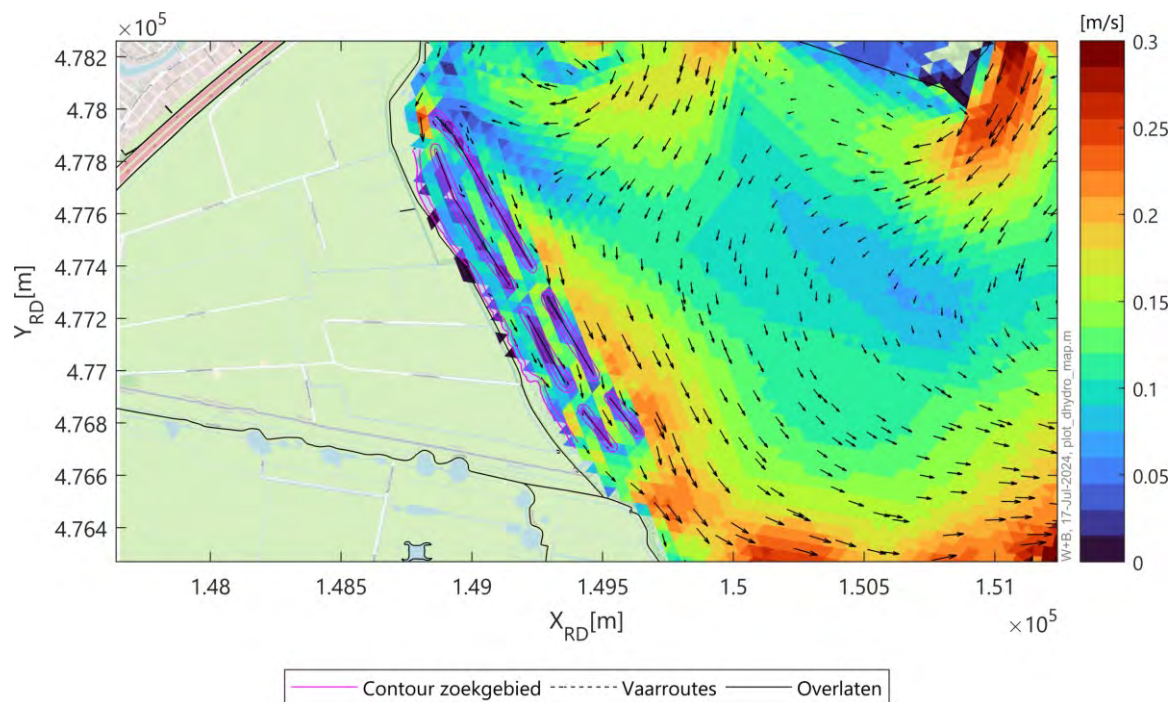
Afbeelding I.1 Maximaal stroombeeld rondom zoekgebied 4 bij een Eemafvoer van $70 \text{ m}^3/\text{s}$, een stormverloop naar $19,1 \text{ m/s}$ (DIR 240N), en een Markermeerpeil van NAP $-0,4 \text{ m}$



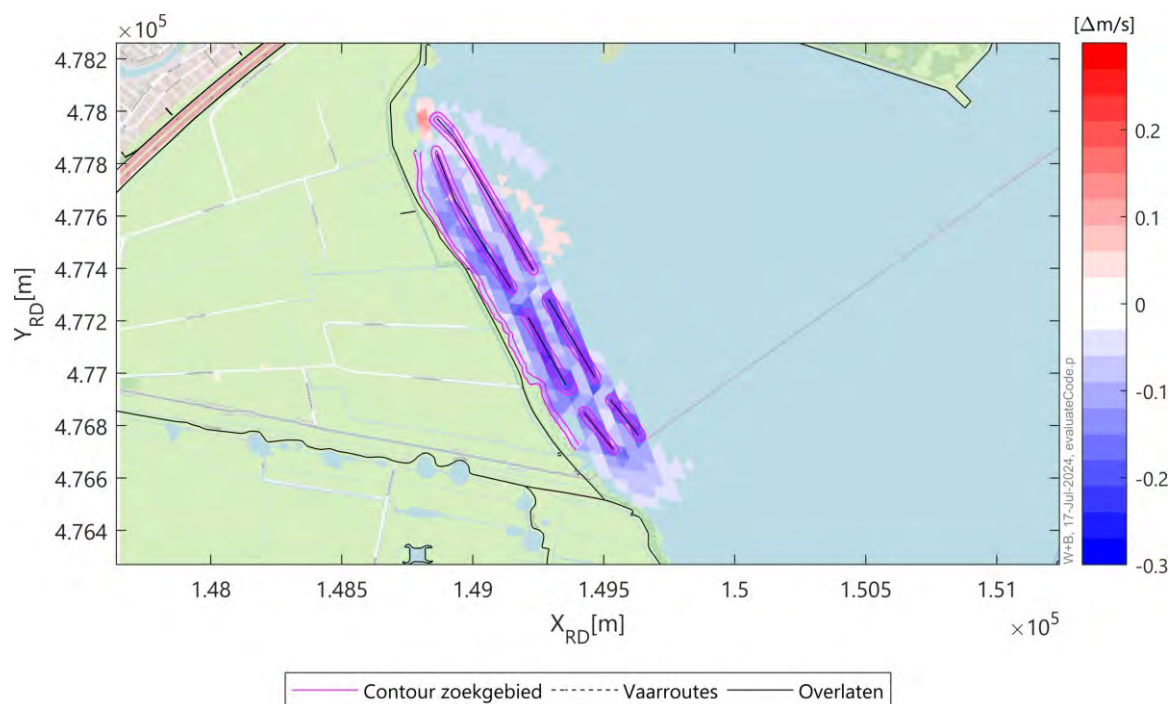
Afbeelding I.2 Verskil in maximaal stroombeeld rondom zoekgebied 4 ten opzichte van de referentie bij een Eemafvoer van $7 \text{ m}^3/\text{s}$, een stormverloop naar $19,1 \text{ m/s}$ (DIR 240N), en een Markermeerpeil van NAP $-0,4 \text{ m}$



Afbeelding I.3 Maximaal stroombeeld rondom zoekgebied 4 bij een Eemafvoer van $70 \text{ m}^3/\text{s}$, een stormverloop naar 18,3 m/s (DIR 300N), en een Markermeerpeil van NAP -0,4 m



Afbeelding I.4 Verschil in maximaal stroombeeld rondom zoekgebied 4 ten opzichte van de referentie bij een Eemafvoer van $70 \text{ m}^3/\text{s}$, een stormverloop naar 18,3 m/s (DIR 300N), en een Markermeerpeil van NAP -0,4 m





BIJLAGE: HYDRAULISCHE MODELLERING TEN BEHOEVE VAN ONTWERP KETELMEER

II.1 Inleiding

Voor de effectenbeoordeling is als basis de Baselineschematisatie baseline-ym_ijvd_ov-hr2017_5-v4 aangehouden. Voor het actualiseren (c.q. verbeteren) van deze referentiesituatie is een dertigtal maatregelen toegevoegd, die zijn samengevat in Tabel II.1. Het resultaat is geprojecteerd naar het WAQUA-rooster (op basis van Ym_ijvd_ov-hr2017_5-v4) en dient als referentiemodel voor de hydrodynamische simulaties.

Tabel II.1 Overzicht van maatregelen die zijn toegevoegd ten behoeve van actualisatie / update van de Baselinereferentie

Naam maatregel
..\..\maatregelen\vd-maatr\vd_kadyr98_a1
..\..\maatregelen\rijn-maatr\km_oever95_a1
..\..\maatregelen\rijn-maatr\km_oever95_b1
..\..\maatregelen\rijn-maatr\km_oever95_c1
..\..\maatregelen\rijn-maatr\km_zbhgt95_a1
..\..\maatregelen\rijn-maatr\km_slibdep_a2
..\..\maatregelen\rijn-maatr\ij_brugn50_a2
..\..\maatregelen\rijn-maatr\km_ketdiep_a1
..\..\maatregelen\rijn-maatr\km_ketelp_a1
..\..\maatregelen\rijn-maatr\km_natontw_a1
..\..\maatregelen\rijn-maatr\ij_pijper_a1
..\..\maatregelen\rijn-maatr\km_schokhv_a1
..\..\maatregelen\rijn-maatr\km_keteil_a1
..\..\maatregelen\rijn-maatr\km_zbhgt11_a1
..\..\maatregelen\rijn-maatr\ym_zbhgt11_a1
..\..\maatregelen\rijn-maatr\km_oever95_d1
..\..\maatregelen\rijn-maatr\km_slibdep_b1
..\..\maatregelen\vd-maatr\vd_brugn50_a1
..\..\maatregelen\vd-maatr\vd_pijper_a1
..\..\maatregelen\vd-maatr\zm_ramspol_a1
..\..\maatregelen\vd-maatr\zm_oever_a1
..\..\maatregelen\vd-maatr\zm_sect98_a1
..\..\maatregelen\vd-maatr\zm_zbhgt98_a1
..\..\maatregelen\vd-maatr\zm_n50rams_a1
..\..\maatregelen\vd-maatr\zm_kragoog_a1
..\..\maatregelen\vd-maatr\vd_eco17_a1
..\..\maatregelen\vd-maatr\zw_kampeil_a1
..\..\maatregelen\rijn-maatr\ij_rt-ovd_a1
..\..\maatregelen\vd-maatr\vd_kwref_a1

II.2 Beoordeling morfologische effecten op het ontwerp

De volgende morfologische effecten zijn beschouwd ter onderbouwing van het ontwerp:

- het analyseren van de **sedimentatie** ter plekke en rondom de voorkeursvarianten, op basis van lokale vertragingengebieden en golfvelden, in combinatie met expert judgement;
- het definiëren van de **sterkte en erosiebestendigheid** van de oeverinrichting van voorkeursvarianten op basis van de stroombeelden en golfvelden (als gevolg van windgolven en stroomsnelheden). Het doel hiervan is dat de inrichtingsmaatregelen in de voorkeursvarianten **duurzaam effectief** zijn: op de lange termijn blijft de maatregel stabiel en verliezen deze hun functie niet.

De morfologische effecten hebben ook onderdeel uitgemaakt van het ontwerpproces. Zo is in de hoogte van de rijshouten dammen de lokaal optreden significante golfhoogte in beschouwing genomen.

Morfologische effecten zijn kwalitatief beoordeeld op basis van hydrodynamische simulaties. De hiervoor beschouwde scenario's zijn samengevat in Tabel II.2

Tabel II.2 Overzicht van de beschouwde modelscenario's ten behoeve van de toetsing van de morfologische effecten op het ontwerp

Scenario en Statistiek	Storm/wind	Rivierafvoer	Initiële Waterstand	Betreffende afbeelding
[1] Stroming 1/1 jaar	-	800 m³/s IJssel 239 m³/s Vecht	-0,4 m NAP IJsselmeerpeil	afbeelding 5.16 (absoluut) afbeelding 5.17 (verschil)
[2] Stroming 1/1 jaar	14,3 m/s verloop richting 270 N	-	-0,4 m NAP IJsselmeerpeil	afbeelding II.1 (absoluut) afbeelding II.2 (verschil)
[3] Stroming T100 jaar (storm) i.c.m. gemiddelde afvoer	18,4 m/s verloop richting 270 N	386 m³/s IJssel 10 m³/s Vecht	-0,4 m NAP IJsselmeerpeil	afbeelding II.3 (absoluut) afbeelding II.4 (verschil)
[4] Stroming T100 jaar	-	2.040 m³/s IJssel 419 m³/s Vecht	-0,4 m NAP IJsselmeerpeil	afbeelding II.5 (absoluut) afbeelding II.6 (verschil)
[5] Windgolven T100 jaar	19,1 m/s (uniform) richting 240 N	-	+1,4 m NAP	afbeelding 5.3 (absoluut) afbeelding 5.4 (verschil)

Alle beschouwde scenario's die zijn gesimuleerd met het stromingsmodel tonen een lokale vertraging van de stroomsnelheid binnen- en direct rondom de zoekgebieden. Er ontstaat dus meer luwte. Gezien de locatie van de twee geulen waardoor de IJssel uitmondt in het Ketelmeer, zal het water zowel bodem- als zweven sediment afvoeren. De verwachting is daardoor dat er sedimentatie plaats zal vinden binnen de grenzen van het zoekgebied. Ook zal aan de westzijde van het zoekgebied, waar de luwtezone verschuift, maar ook wordt vergroot, sedimentatie plaatsvinden. Onder gemiddelde condities zal de mate van sedimentatie beperkt zijn. Wel wordt, vooral gedurende de eerste paar jaren na aanleg, geadviseerd de bodemontwikkelingen binnen- en rondom het gebied te monitoren.

Het scenario met windgolven toont aan dat de lokale inkomende golven een significante golfhoogte hebben tot 0,8 m. Door de aanwezigheid van de rijshouten dam en de eilanden neemt de significante golfhoogte af met maximaal 0,1 - 0,2 m. Tijdens extreme condities laten de rijshouten dammen dus een groot deel van de golven passeren. Echter is dan de resulterende bodemschuifspanning op de richels (0,4 Pa bij T100 jaar) relatief laag door de grotere waterdiepte en daarmee in dezelfde orde van grootte als de kritische bodemschuifspanning (0,24 - 0,4 Pa) van de onbegroeide richels. Enige erosie van de richels is niet uit te sluiten, maar is naar verwachting beperkt.

Afhankelijk van de volwassenheid van de vegetatie kan de resulterende golfbelasting tot enige erosie leiden van de eilanden. Vooral tijdens de eerste jaren zal de stabiliteit van de eilanden moeten worden gemonitord.

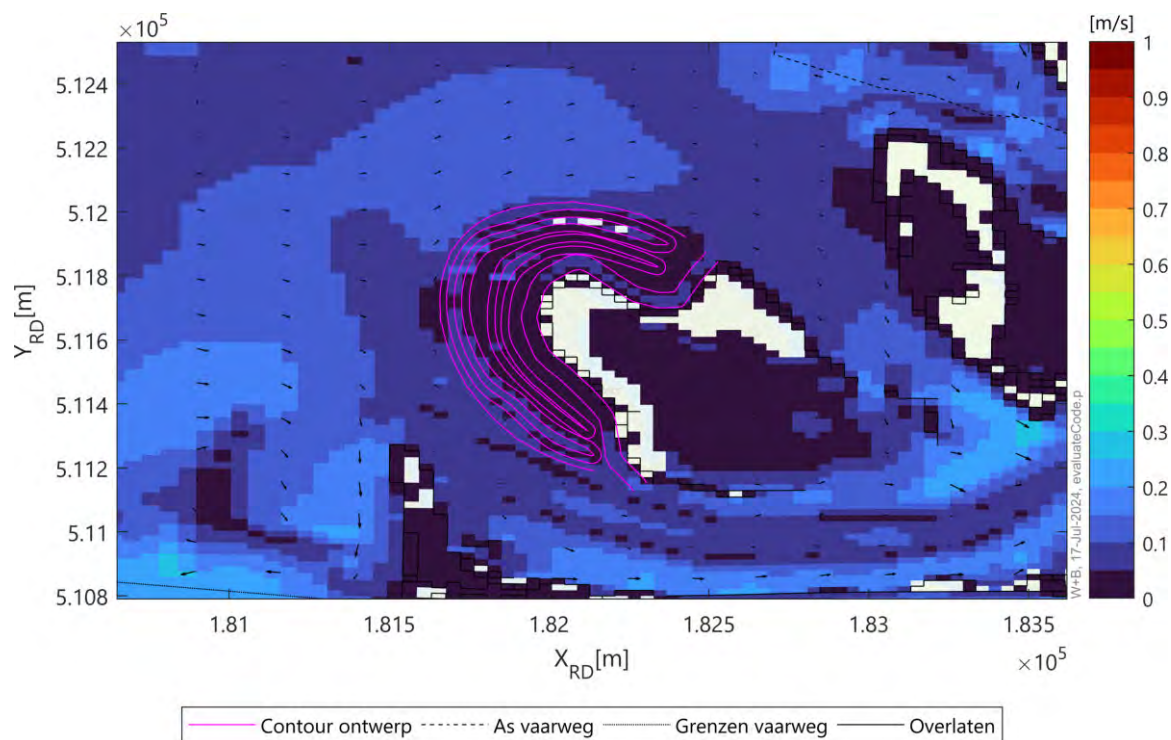
II.3 Ontwerputgangspunten rijshouten dam

Aan de hand van de hydrodynamische modellering zijn hydraulische ontwerputgangspunten voor de rijshouten dam vastgesteld, horende bij een overschrijdingskans van 1/100 jaar. Deze zijn samengevat in Tabel II.3.

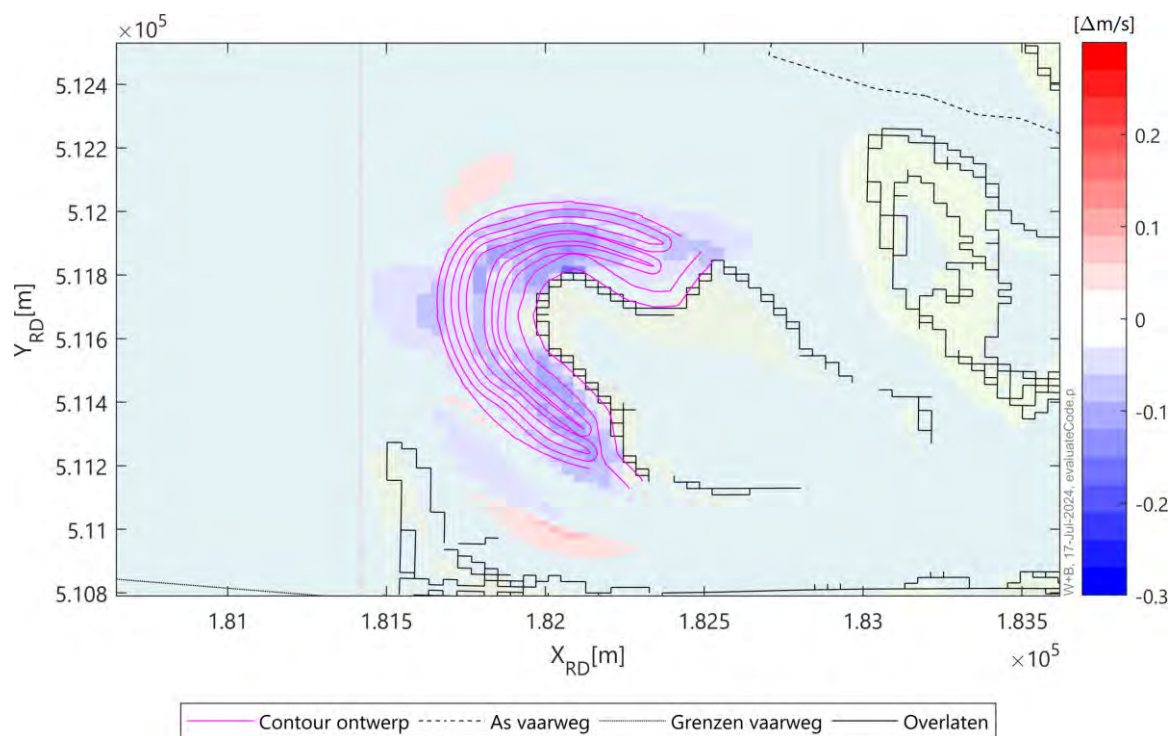
Tabel II.3 Hydraulische ontwerputgangspunten voor de rijshouten dam

Eigenschap	Waarden
significante golfhoogte H_s	0,8 m
piekperiode T_p	3,2 s
stroomsnelheid	0,3 m/s
waterstand	NAP +1,59 m
kruinhoogte	NAP +0,30 m
hoogte teen	NAP -2,5 m

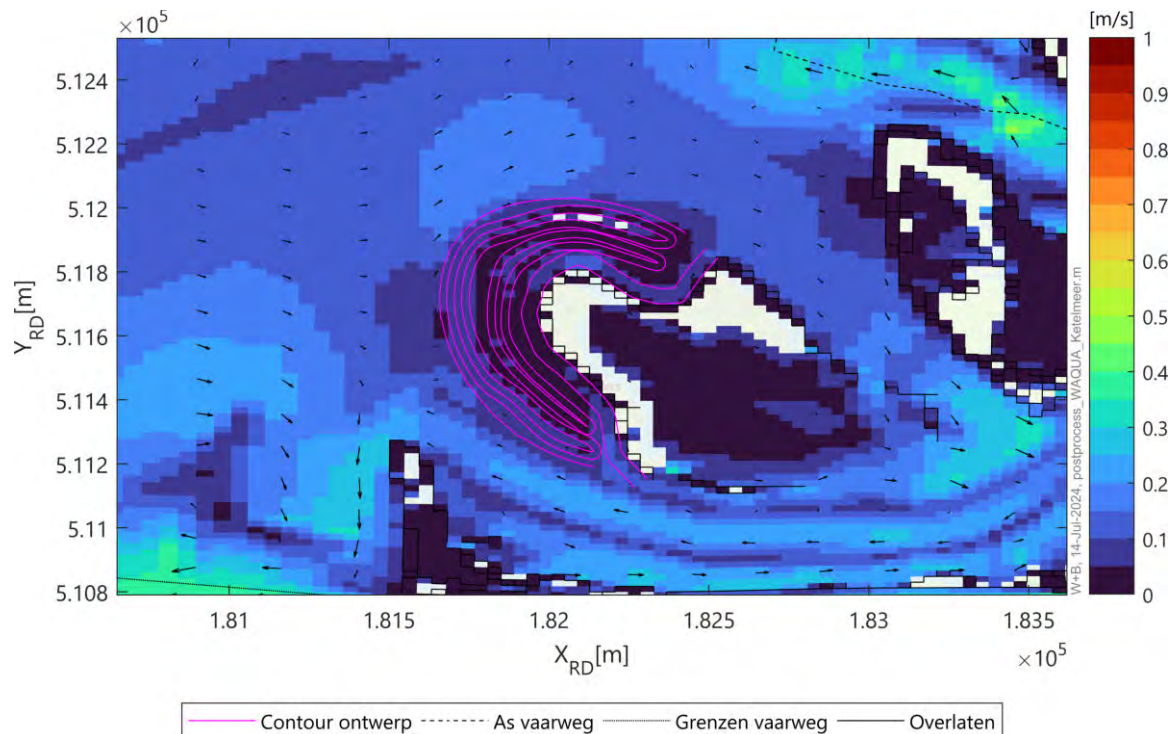
Afbeelding II.1 Maximaal stroombeeld rondom zoekgebied 11 bij een IJsselafvoer van 0 m³/s, een Vechtafvoer van 0 m³/s, een IJsselmeerpeil van NAP -0,4 m en een stormverloop naar 14,3 m/s (DIR 270N)



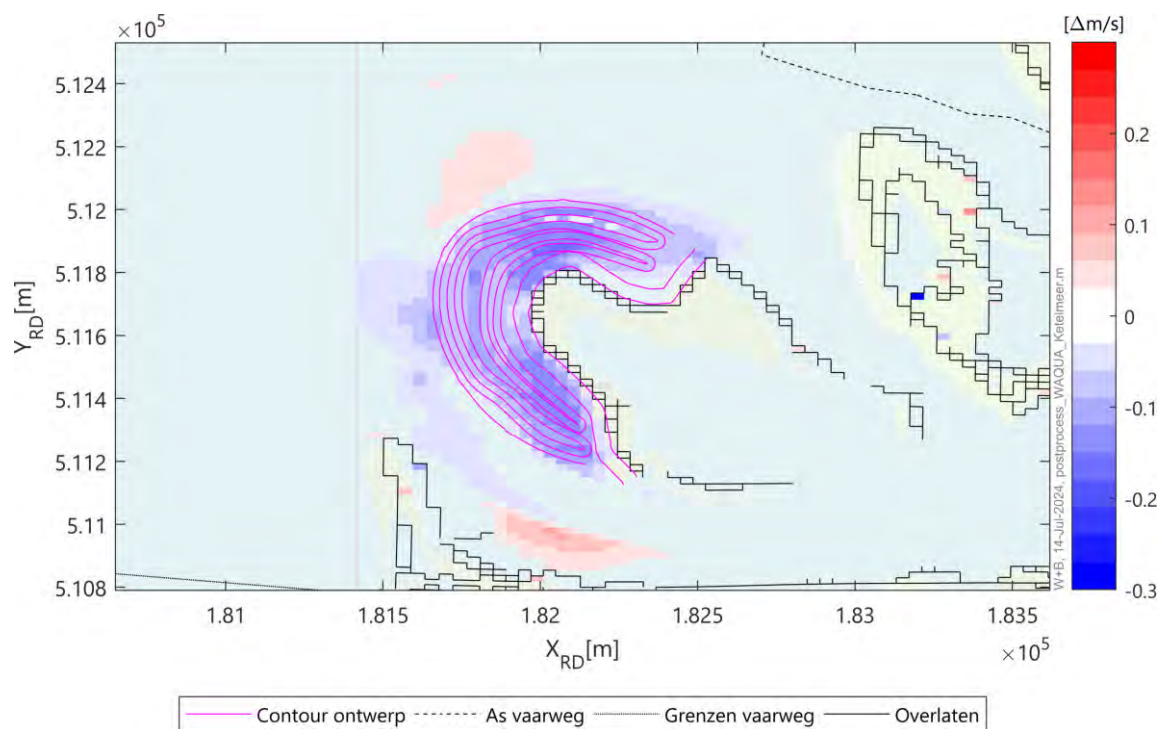
Afbeelding II.2 Verschil in maximaal stroombeeld rondom zoekgebied 11 ten opzichte van de referentie bij een IJsselafvoer van $0 \text{ m}^3/\text{s}$, een Vechtafvoer van $0 \text{ m}^3/\text{s}$, een IJsselmeerpeil van NAP $-0,4 \text{ m}$ en een stormverloop naar $14,3 \text{ m/s}$ (DIR 270N)



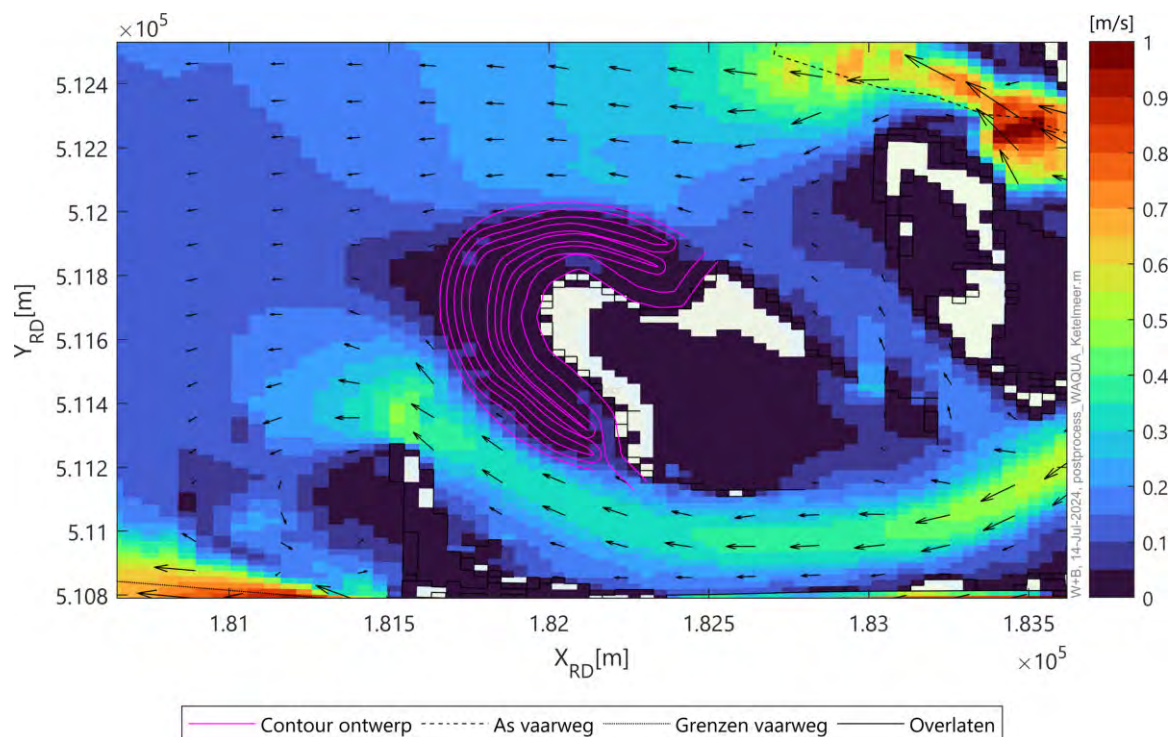
Afbeelding II.3 Maximaal stroombeeld rondom zoekgebied 11 bij een IJsselafvoer van $386 \text{ m}^3/\text{s}$, een Vechtafvoer van $10 \text{ m}^3/\text{s}$, een IJsselmeerpeil van NAP $-0,4 \text{ m}$ en een stormverloop naar $18,4 \text{ m/s}$ (DIR 270N)



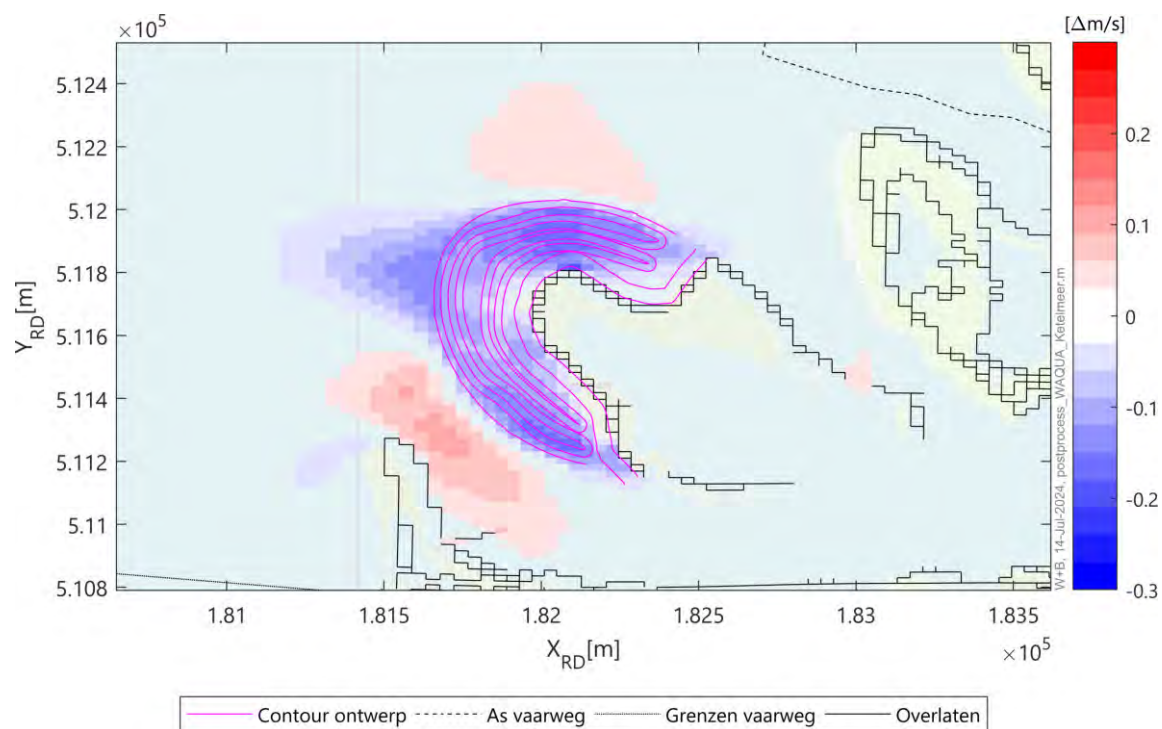
Afbeelding II.4 Verschil in maximaal stroombeeld rondom zoekgebied 11 ten opzichte van de referentie bij een IJsselafvoer van 386 m³/s, een Vechtafvoer van 10 m³/s, een IJsselmeerpeil van NAP -0,4 m en een stormverloop naar 18,4 m/s (DIR 270N)



Afbeelding II.5 Stroombeeld rondom zoekgebied 11 bij een IJsselafvoer van 2.040 m³/s, een Vechtafvoer van 416 m³/s en een IJsselmeerpeil van NAP -0,4 m, zonder windforcering



Afbeelding II.6 Verschil in stroombeeld rondom zoekgebied 11 ten opzichte van de referentie bij een IJsselafvoer van 2.040 m³/s, een Vechtafvoer van 416 m³/s en een IJsselmeerpeil van NAP -0,4 m, zonder windforcering





BIJLAGE: HYDRAULISCHE MODELLERING TEN BEHOEVE VAN ONTWERP ZWARTE MEER

III.1 Inleiding

Voor de hydrodynamische modellering van de effecten die optreden in het Zwarte Meer, is dezelfde modelschematisatie als uitgangspunt gehanteerd zoals toegelicht in bijlage II.1.

III.2 Beoordeling morfologische effecten op het ontwerp

De volgende morfologische effecten zijn beschouwd ter onderbouwing van het ontwerp:

- het analyseren van de **sedimentatie** ter plekke en rondom de voorkeursvarianten, op basis van lokale vertragsgebieden en golfvelden, in combinatie met expert judgement;
- het definiëren van de **sterkte en erosiebestendigheid** van de oeverinrichting van voorkeursvarianten op basis van de stroombeelden en golfvelden (als gevolg van windgolven en stroomsnelheden). Het doel hiervan is dat de inrichtingsmaatregelen in de voorkeursvarianten **duurzaam effectief** zijn: op de lange termijn blijft de maatregel stabiel en verliezen deze hun functie niet.

De morfologische effecten hebben ook onderdeel uitgemaakt van het ontwerpproces. Zo is in de hoogte van de rijkshouten dammen de lokaal optreden significante golfhoogte in beschouwing genomen.

Morfologische effecten zijn kwalitatief beoordeeld op basis van hydrodynamische simulaties. De hiervoor beschouwde scenario's zijn samengevat in Tabel III.1

Tabel III.1 Overzicht van de beschouwde modelscenario's ten behoeve van de toetsing van de morfologische effecten op het ontwerp

Scenario en Statistiek	Storm/wind	Rivierafvoer	Initiële Waterstand	Betreffende afbeelding
[1] Stroming 1/1 jaar	-	800 m³/s IJssel 239 m³/s Vecht	-0,4 m NAP IJsselmeerpeil	afbeelding 6.19 (absoluut) afbeelding 6.20 (verschil)
[2] Stroming 1/1 jaar	14,3 m/s verloop richting 270 N	-	-0,4 m NAP IJsselmeerpeil	afbeelding 6.21 (absoluut) afbeelding 6.22 (verschil)
[3] Stroming T100 jaar (storm) i.c.m. gemiddelde afvoer	18,4 m/s verloop richting 270 N	386 m³/s IJssel 10 m³/s Vecht	-0,4 m NAP IJsselmeerpeil	afbeelding III.1 (absoluut) afbeelding III.2 (verschil)
[4] Stroming T100 jaar	-	2.040 m³/s IJssel 419 m³/s Vecht	-0,4 m NAP IJsselmeerpeil	afbeelding III.3 (absoluut) afbeelding III.4 (verschil)
[5] Windgolven T100 jaar	19,1 m/s (uniform) richting 240 N	-	+1,4 m NAP	afbeelding 6.8 (absoluut) afbeelding 6.9 (verschil)

Alle beschouwde scenario's die zijn gesimuleerd met het stromingsmodel tonen een lokale vertraging van de stroomsnelheid binnen- en direct rondom de zoekgebieden. Er ontstaat dus meer luwte. Gezien de beperkte stroomsnelheid in de referentiesituatie voor afvoergedomineerde scenario's, zal er vrijwel geen bodemtransport plaatsvinden. Door de toename van luwte binnen het zoekgebied, zal er mogelijk meer zwevend sediment uitzakken. De grootste morfologische veranderingen in het zoekgebied worden waarschijnlijk veroorzaakt door windgedreven stroming in combinatie met golfslag.

Het scenario met windgolven toont aan dat de lokale inkomende golven een significante golfhoogte hebben van maximaal 0,8 m. Door de aanwezigheid van de rijshouten dammen en de eilanden neemt de significante golfhoogte af met maximaal 0,25 m. Voor de morfologische effecten is de tijdelijke situatie waarbij de richels nog onbegroeid / gedeeltelijk begroeid zijn maatgevend. We vergelijken de bodemschuifspanning (maat voor belasting) met de kritische bodemschuifspanning (maat voor de erosiebestendigheid). Bij zoekgebied 14 in het Zwarte Meer bestaat het natuurlijke bodemmateriaal uit kleiarm zand en lichte zavel. De kritische bodemschuifspanning is 0,24 Pa voor kleiarm zand en 0,40 Pa voor lichte zavel [ref. Witteveen+Bos (2023a)].

Tijdens dagelijkse omstandigheden (met waterstanden rond het gemiddelde) wordt de golfenergie die het zoekgebied binnentreedt echter gelimiteerd door de rijshouten dammen, waardoor erosie van de richels dan voorkomen wordt. Tijdens extreme condities laten de rijshouten dammen een groot deel van de golven passeren. De resulterende bodemschuifspanning is dan 0,4 Pa bij de richels met een kruin op NAP -0,7 m tot 0,6 Pa bij de richels met een kruin op NAP -0,7 m bij T100 jaar. Deze resulterende bodemschuifspanning op de richels is relatief beperkt door de (hogere waterstand en) grotere waterdiepte en daarmee iets groter dan de kritische bodemschuifspanning (0,24 - 0,4 Pa) van de onbegroeide richels. Enige erosie van de richels is tijdens stormen niet uit te sluiten en zou kunnen leiden tot afvlakking van de richels. Als gevolg van de geringe stroomsnelheden binnen het zoekgebied zal het sediment naar verwachting op de taluds van de richels reeds bezinken.

Afhankelijk van de volwassenheid van de vegetatie kan de resulterende golfbelasting tot erosie leiden van de eilanden. Vooral tijdens de eerste jaren zal de stabiliteit van de eilanden moeten worden gemonitord.

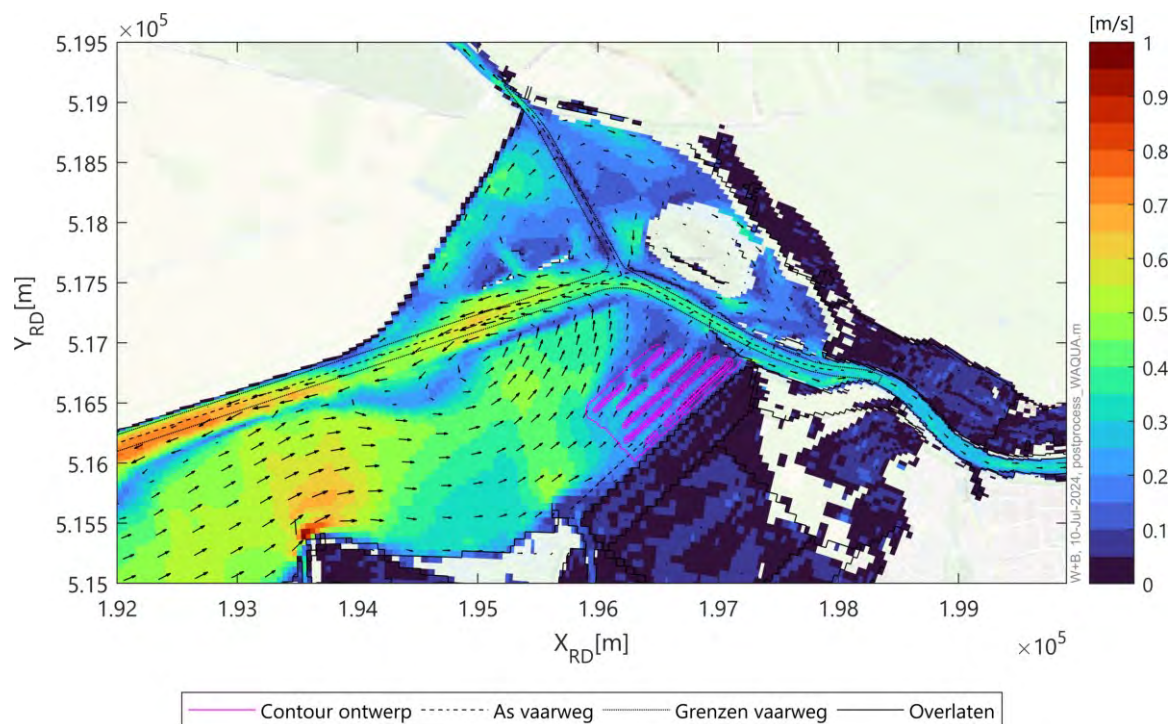
III.3 Ontwerputgangspunten rijshouten dam

Aan de hand van de hydrodynamische modellering zijn hydraulische ontwerputgangspunten voor de rijshouten dam vastgesteld, horende bij een overschrijdingskans van 1/100 jaar. Deze zijn samengevat in Tabel III.2.

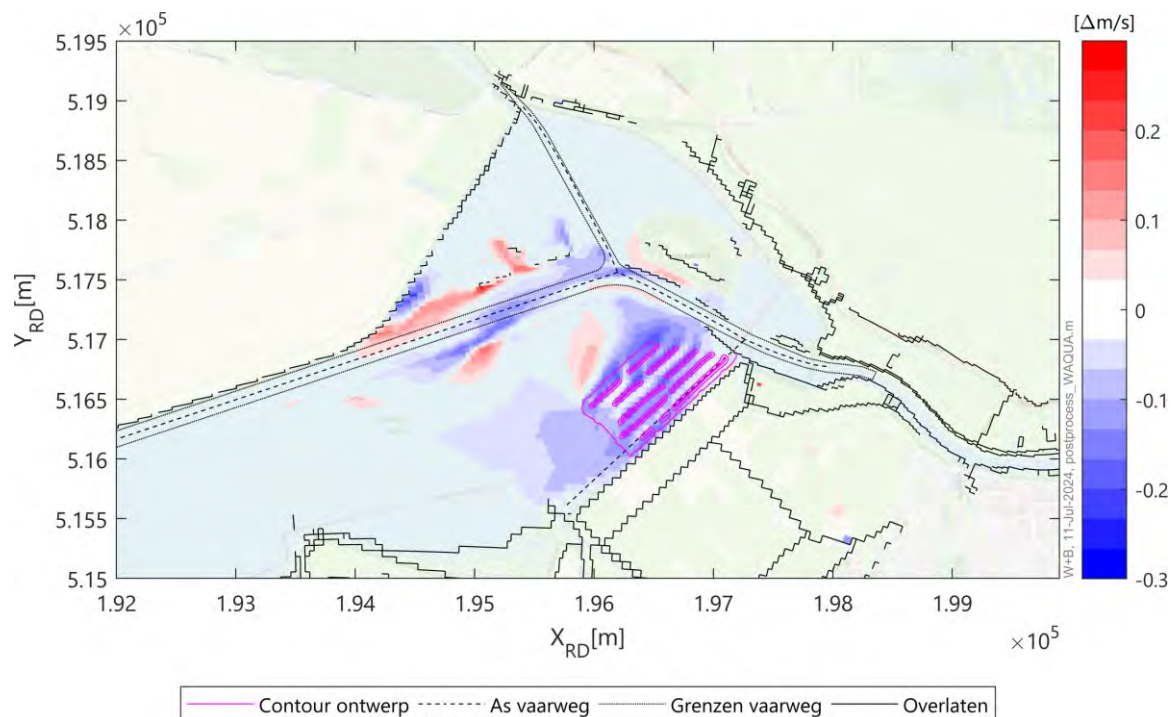
Tabel III.2 Hydraulische ontwerputgangspunten voor de rijshouten dam

Eigenschap	Waarden
significante golfhoogte H_s	0,8 m
piekperiode T_p	3,7 s
stroomsnelheid	0,4 m/s
waterstand	NAP +1,18 m
kruinhoogte	NAP +0,30 m
hoogte teen	NAP -1,2 m

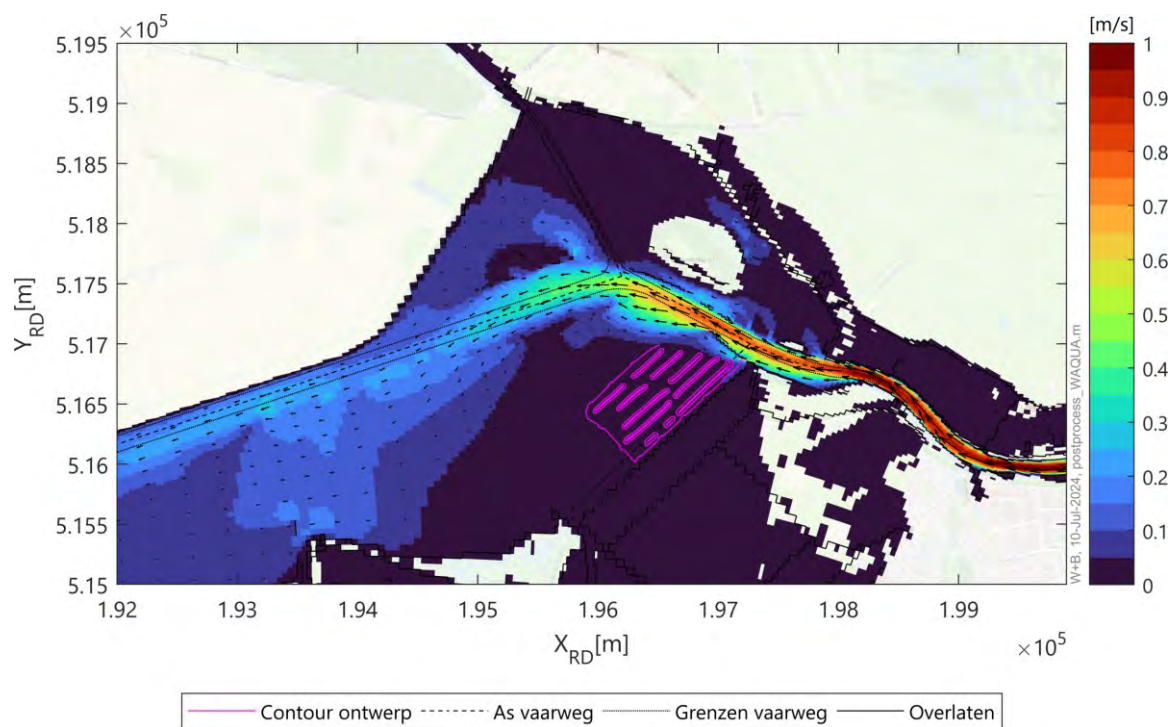
Afbeelding III.1 Maximaal stroombeeld rondom zoekgebied 14 bij een IJsselafoer van 386 m³/s, een Vechtafoer van 10 m³/s en een IJsselmeerpeil van NAP -0,4 m, een stormverloop naar 18,4 m/s (DIR 270N)



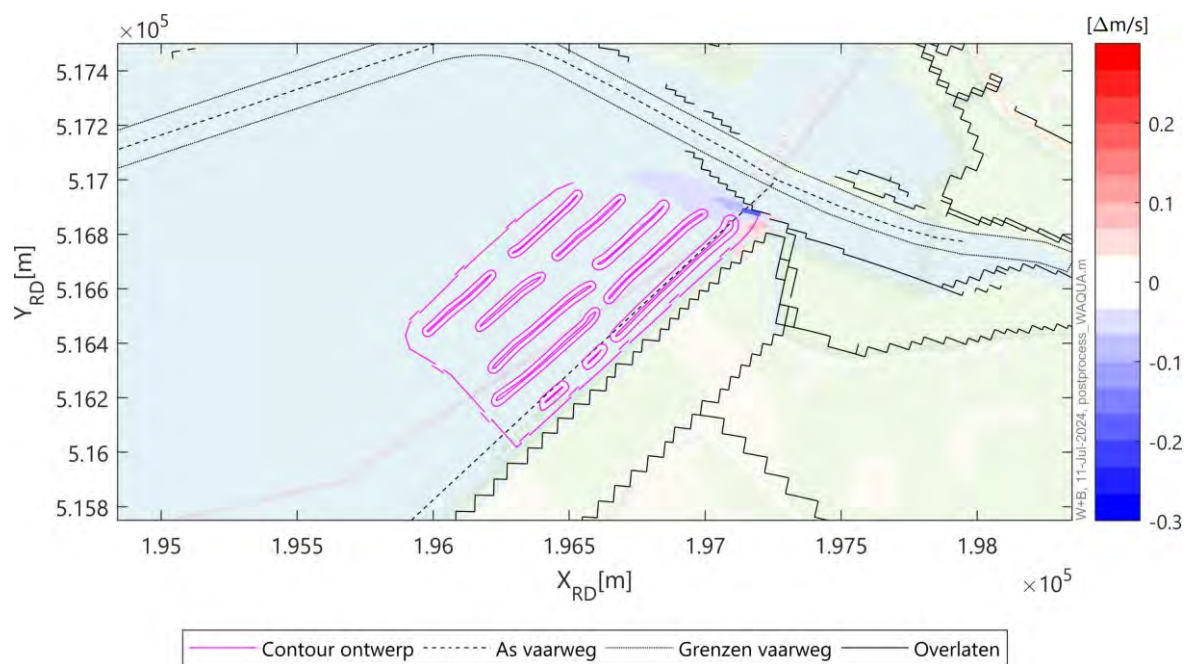
Afbeelding III.2 Verschil in maximaal stroombeeld rondom zoekgebied 14 ten opzichte van de referentie bij een IJsselafoer van 386 m³/s, een Vechtafoer van 10 m³/s en een IJsselmeerpeil van NAP -0,4 m, een stormverloop naar 18,4 m/s (DIR 270N)



Afbeelding III.3 Stroombeeld rondom zoekgebied 14 bij een IJsselafvoer van 2.040 m³/s, een Vechtafvoer van 416 m³/s en een IJsselmeerpeil van NAP -0,4 m, zonder windforcering



Afbeelding III.4 Verschil in stroombeeld rondom zoekgebied 14 ten opzichte van de referentie bij een IJsselafvoer van 2.040 m³/s, een Vechtafvoer van 416 m³/s en een IJsselmeerpeil van NAP -0,4 m, zonder windforcering



IV

BIJLAGE: EFFECTEN SCHEEPVAART OP KRW-MAATREGEL

IV.1 Introductie

Het analyseren van de waterbeweging onder invloed van scheepvaart is uitgevoerd op basis van expert judgement. Voor een motivatie voor het kwalitatief beschouwen, wordt verwezen naar paragraaf 2.1.2 van Deelrapport huidige situatie hydraulische en morfologische toestand en autonome ontwikkelingen (Fase 1, werkpakket 6 en 7, 131294-WP6+WP7/23-003.366, d.d. 22 februari 2023).

IV.2 Eemmeer: Zoekgebied 4

Zoekgebied 4 in het Eemmeer ligt op een afstand van enkele kilometers verwijderd van vaargeulen. Het is voor zoekgebied 4 daarom aannemelijk dat de belasting van windgolven (H_s van 0,5 m) op de rijshouten dam en de achterliggende eilanden maatgevend is.

IV.3 Ketelmeer: Zoekgebied 11

In de buurt van zoekgebied 11 lopen twee vaargeulen: (1) ten zuiden op een afstand van ten minste 900 m, die in westelijke richting loopt vanuit de IJssel en (2) en noordoosten op een afstand van ten minste 700 m, die vanuit de IJssel richting de Ramspol loopt. Het is aannemelijk dat scheepsgolven vanuit beide vaargeulen het zoekgebied zullen bereiken, maar door de grote afstand wel in hoogte afgenomen zullen zijn. Het is de verwachting dat de hydraulische belasting op de rijshouten dam en de achterliggende eilanden ten gevolge van de maatgevende windgolven (in combinatie met de windopzet) groter zal zijn dan de scheepsgolven die het zoekgebied zullen bereiken.

IV.4 Zwarte Meer: Zoekgebied 14

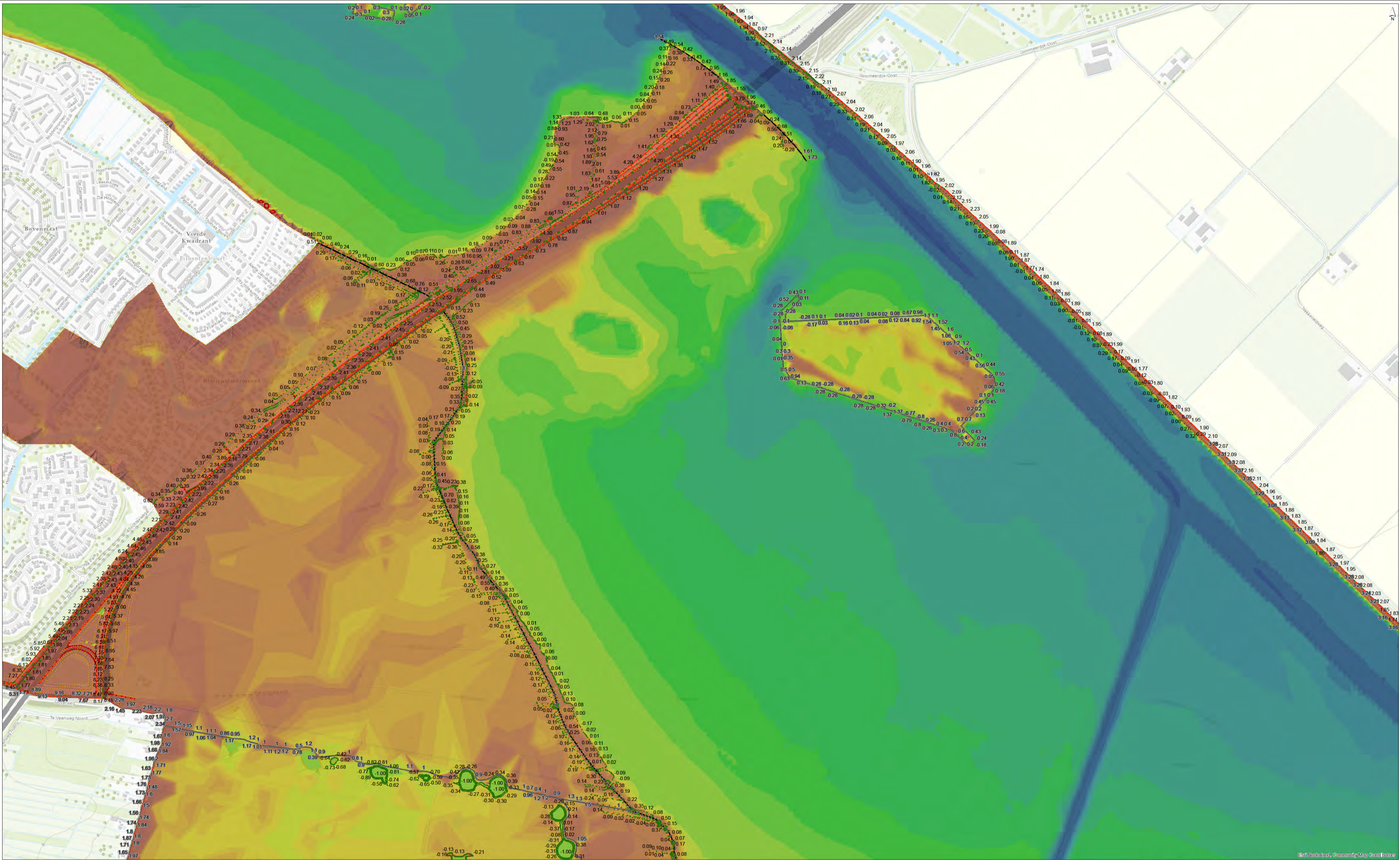
Dit zoekgebied ligt op een afstand van ten minste 300 meter van de vaargeul in het Zwarte Water. Aan de Noordzijde is de rijshouten dam niet doorgetrokken, waardoor scheepgolven de eilanden kunnen bereiken. Hier moet rekening mee worden gehouden bij het ontwerp van de oevers.

Langs de zuidoostzijde van het zoekgebied bevindt zich ook een vaargeul voor recreatievaart. Op deze vaargeul geldt een vaarsnelheidsbeperking, waardoor de inkomende golven waarschijnlijk kleiner zijn dan de maatgevende windgolven ter plaatse van de eilanden.

Langs de andere zijden van het gebied zullen de windgolven maatgevend zijn wat betreft het belastingniveau op de oevers van de eilanden. Daarnaast worden scheepsgolven afkomstig van het noordwesten onder gemiddelde condities (zonder noemenswaardige windopzet) gebroken dankzij de aanwezigheid van de rijshouten dammen.



BIJLAGE: BASELINE SCHEMATISATIE EEMMEER



• vertex hoogte	bodemhoogte (m+NAP)	-0.307 - -0.204 -2.015 - -1.843
hoogtelijnen	0.593 - 36.8	-0.432 - -0.307 -2.225 - -2.015
Groyne	0.215 - 0.593	-0.762 - -0.432 -2.455 - -2.225
Local embankment	0.055 - 0.215	-1.084 - -0.762 -2.701 - -2.455
Primary Embankment	-0.032 - 0.055	-1.391 - -1.084 -3.096 - -2.701
terrain_jump_3d_routes	-0.115 - -0.032	-1.644 - -1.391 -4.884 - -3.096
terrain_edge_3d_lines	-0.204 - -0.115	-1.843 - -1.644 -39.075 - -4.884

drawn:

verified:

approved:

version: definitief 1

date: 08-01-2024

drawing no: 6

page size: A1 landscape

scale: 1:7000

0

100

200

300

400

500 m

KRW IJsselmeer

variant: markermeer-beno19_6-v1

referentie

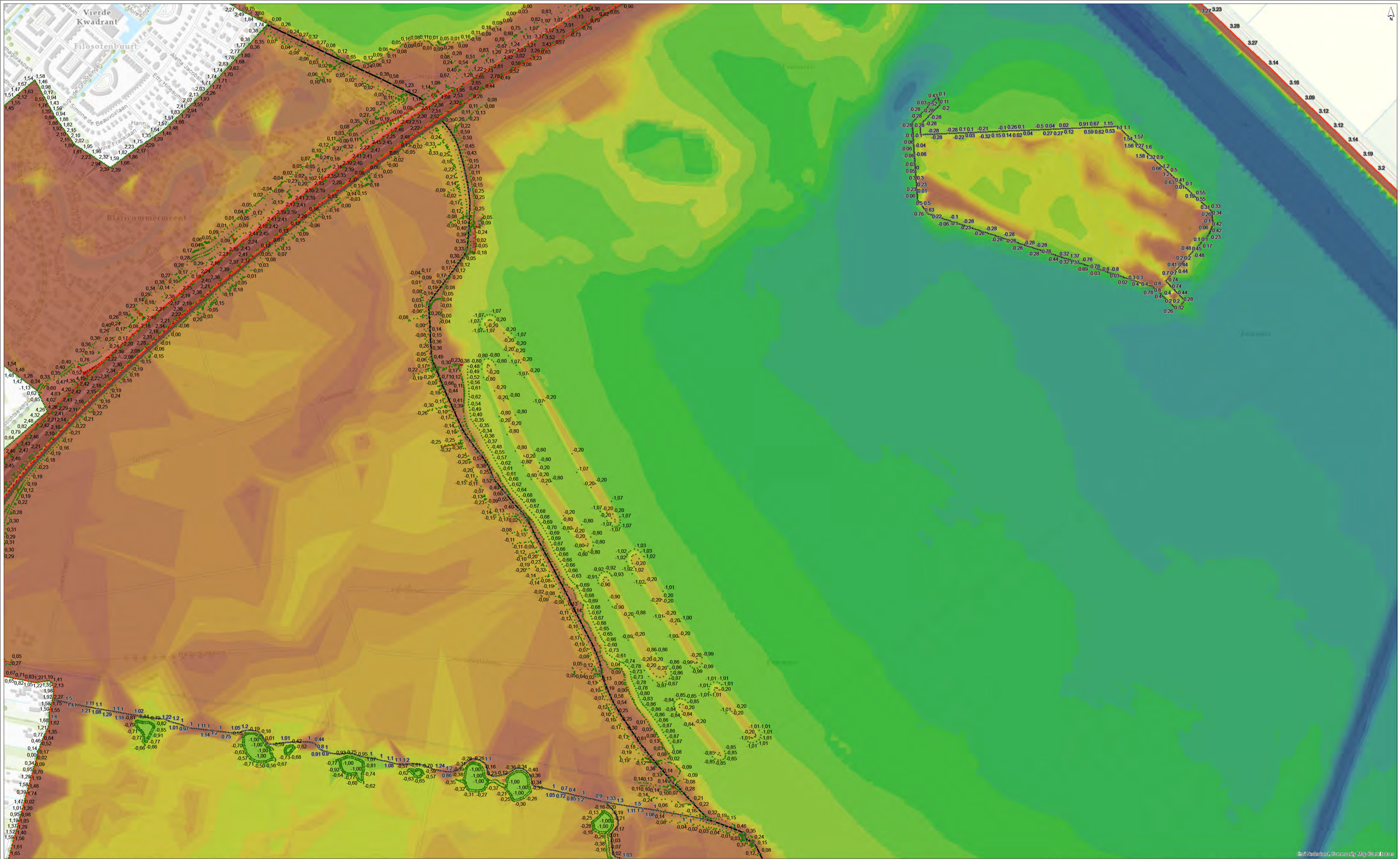
client:

project: KRW IJsselmeer

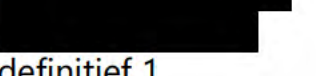
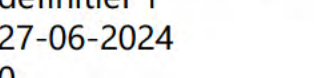
project code: 137592

Witteveen

Bos

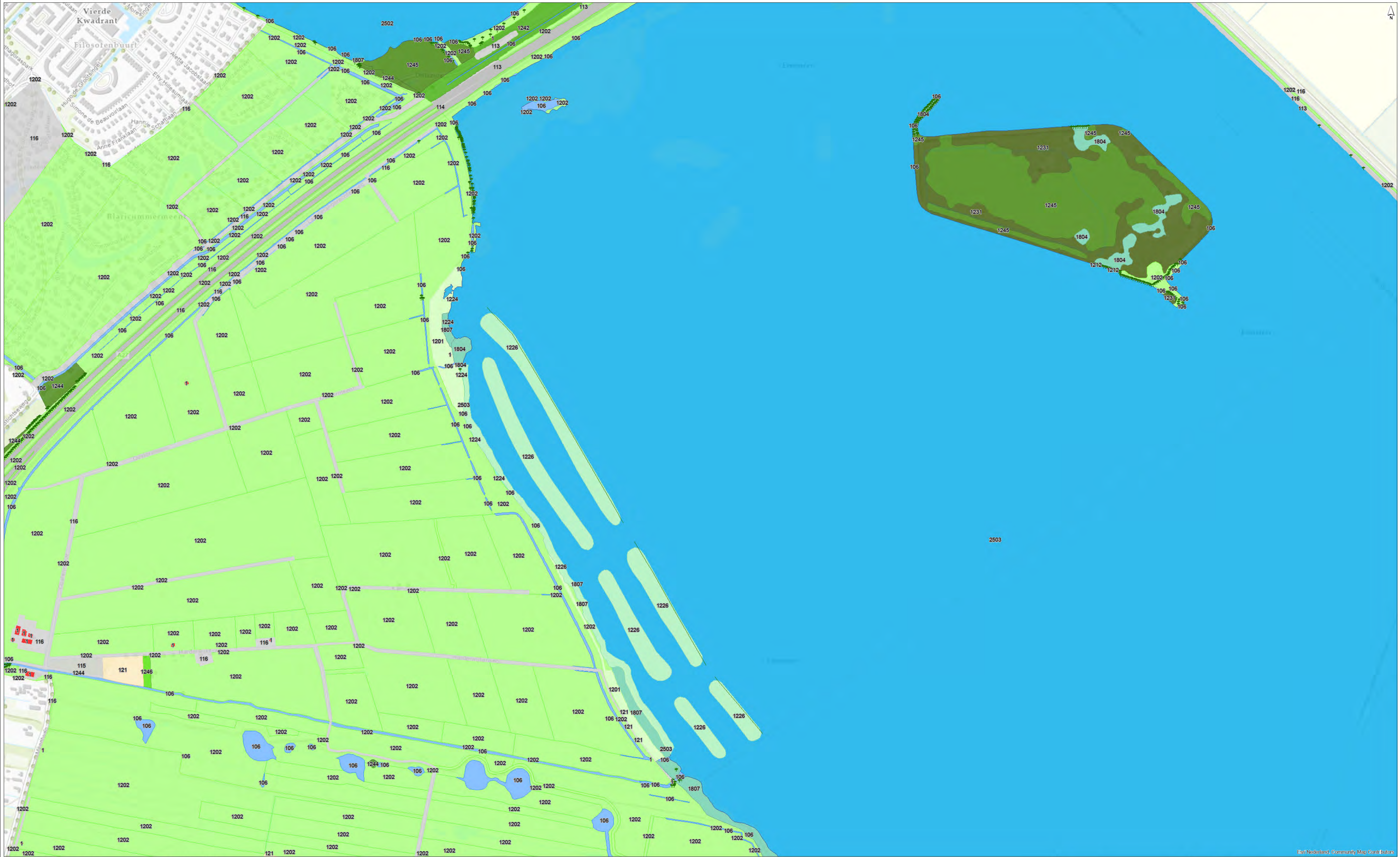


• vertex hoogte	bodemhoogte (m+NAP)	-0.297 - -0.2 -2.015 - -1.842
hoogtelijnen	0.601 - 36.8 -0.417 - -0.297 -2.225 - -2.015	-0.417 - -0.297 -2.225 - -2.015
Groyne	0.218 - 0.601 -0.717 - -0.417 -2.455 - -2.225	-0.717 - -0.417 -2.455 - -2.225
Local embankment	0.057 - 0.218 -1.061 - -0.717 -2.701 - -2.455	-1.061 - -0.717 -2.701 - -2.455
Primary Embankment	-0.03 - 0.057 -1.39 - -1.061 -3.097 - -2.701	-1.39 - -1.061 -3.097 - -2.701
terrain_jump_3d_routes	-0.112 - -0.03 -1.644 - -1.39 -4.884 - -3.097	-1.644 - -1.39 -4.884 - -3.097
terrain_edge_3d_lines	-0.2 - -0.112 -1.842 - -1.644 -3.097 - -4.884	-1.842 - -1.644 -3.097 - -4.884

getekend: 
gecontroleerd: 
goedgekeurd: 
versie: definitief 1
datum: 27-06-2024
tekeningnr: 0

formaat: A1 liggend
schaal: 1:5000


KRW IJsselmeer
variant: beno196_v1_zoek4
maatregelen: em_zoek4_a2
opdrachtgever: RWS
projectnaam: KRW IJsselmeer
projectcode: 131294



- land_use_points
land_use_lines
- ruwheid**
- Natte vegetatie homogeen
 - Natte vegetatie
 - Gebouw
 - Bebouwd/verhard terrein
 - Zomerbed
 - Plas/haven/slikkige oever
 - Akker
 - Productiegrasland
 - Natuurlijk grasland/hooiland
 - Boomgaard
 - Productiebos
 - Ooibos
 - Struweel/griend
 - Ruigte
 - Natte vegetatie met 25% water

getekend: [redacted]
gecontroleerd: [redacted]
goedgekeurd: [redacted]
versie: definitief 1
datum: 27-06-2024
tekeningnr: 0

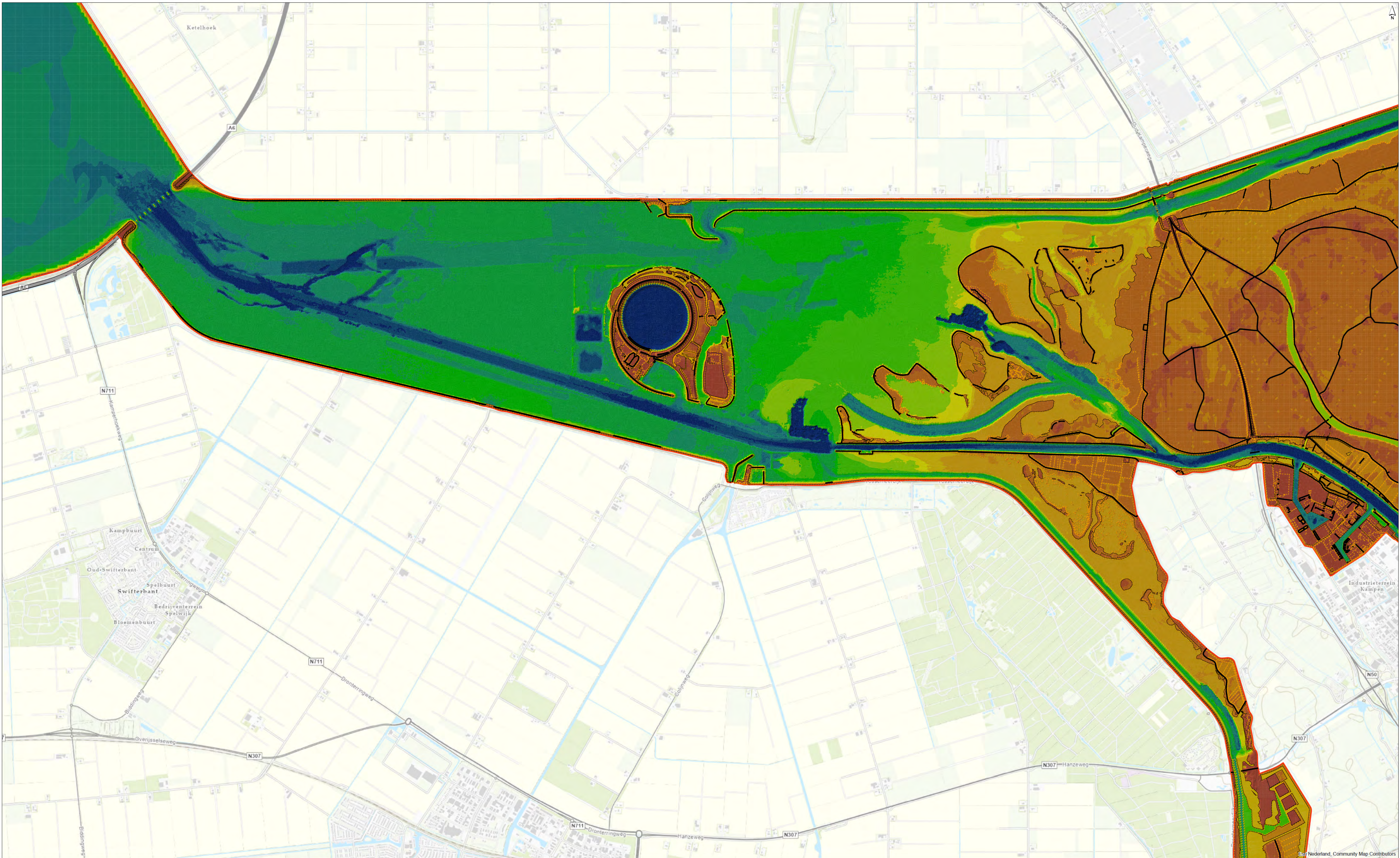
formaat: A1 liggend
schaal: 1:5000
0 100 200 300 m

KRW IJsselmeer
variant: beno196_v1_zoek4
maatregelen: em_zoek4_a2
opdrachtgever: RWS
projectnaam: KRW IJsselmeer
projectcode: 131294

Witteveen + Bos

VI

BIJLAGE: BASELINE SCHEMATISATIE KETELMEER



overlaten_routes

TYPE

krib (1)

kade (2)

hverschil (3)

breuklijnen_routes

bandlijnen_routes

Window Size: 20,000

Elevation

1 - 31.4

0.5 - 1

0 - 0.5

-0.5 - 0

-1 - -0.5

-1.5 - -1

21,122 - 40,24

15,81 - 21,122

14,107 - 15,81

12,996 - 14,107

12,058 - 12,996

11,132 - 12,058

10,077 - 11,132

8,782 - 10,077

7,044 - 8,782

5,073 - 7,044

3,24 - 5,073

1,144 - 3,24

-4,354 - 1,144

-12,712 - -4,354

-2 - -1.5

-2.5 - -2

-3 - -2.5

-3.5 - -3

-4 - -3.5

-4.5 - -4

-5 - -4.5

-5.5 - -5

-6 - -5.5

-21.51 - -6

-22.68 - -12,712

getekend: [redacted]

gecontroleerd:

goedgekeurd:

versie: 1

datum: 29-08-2023

tekeningnr: 0

formaat: A1 liggend

schaal: 1:22500

0 400 800 1200 m

Planuitwerking KRW 3e tranche MN

Referentie Ketelmeer: krw_zmkm_ref

Bodemhoogte

opdrachtgever: RWS

projectnaam: Planuitwerking KRW 3e tranche MN

projectcode: 131294

Witteveen

Bos



hoogwatervrij_lijnen

ruwheid_punten

ruwheid_lijnen

ruwheid_vlakken

RUWHEIDSCODE

Bebouwd/hoogwatervrij terrein

Bebouwd/verhard terrein

Steenbekleding

Vaste lagen

Zomerbed

Diepe bedding

Ondiepe bedding

Plas/haven/slikkige oever

Nevengeul

Meer

Strang

Kribvakstrand/zandplaat/grindplaat

Ruwe oever

Akker

Productiegrasland

Natuurlijk grasland/hooiland

Verruigd grasland

Boomgaard

Bomen

Productiebos

Ooibos

Heggen

Struweel/griend

Pioniersvegetatie

Riet

Ruigte

Natte vegetatie homogeen

Natte vegetatie met 25% water

Vegetatielegger, water

Vegetatielegger, verhard

Vegetatielegger, gras en akker

Vegetatielegger, riet en ruigte

Vegetatielegger, bos

Vegetatielegger, struweel

Vegetatielegger, mengklasse 90/10

Vegetatielegger, mengklasse 70/30

Vegetatielegger, mengklasse 50/50

Niet gecodeerd

Niet gedefinieerd

hoogwatervrij_vlakken

Niet gespecificeerd

Kenmerk

hwatvrij

gebouw

pijlars

getekend: [redacted]

gecontroleerd:

goedgekeurd:

versie: 1

datum: 28-08-2023

tekeningnr: 0

formaat: A1 liggend

schaal: 1:22500

0 400 800 1200 m

Planuitwerking KRW 3e tranche MN

Referentie KetelMeer: krw_zmkm_ref

Ruwheid

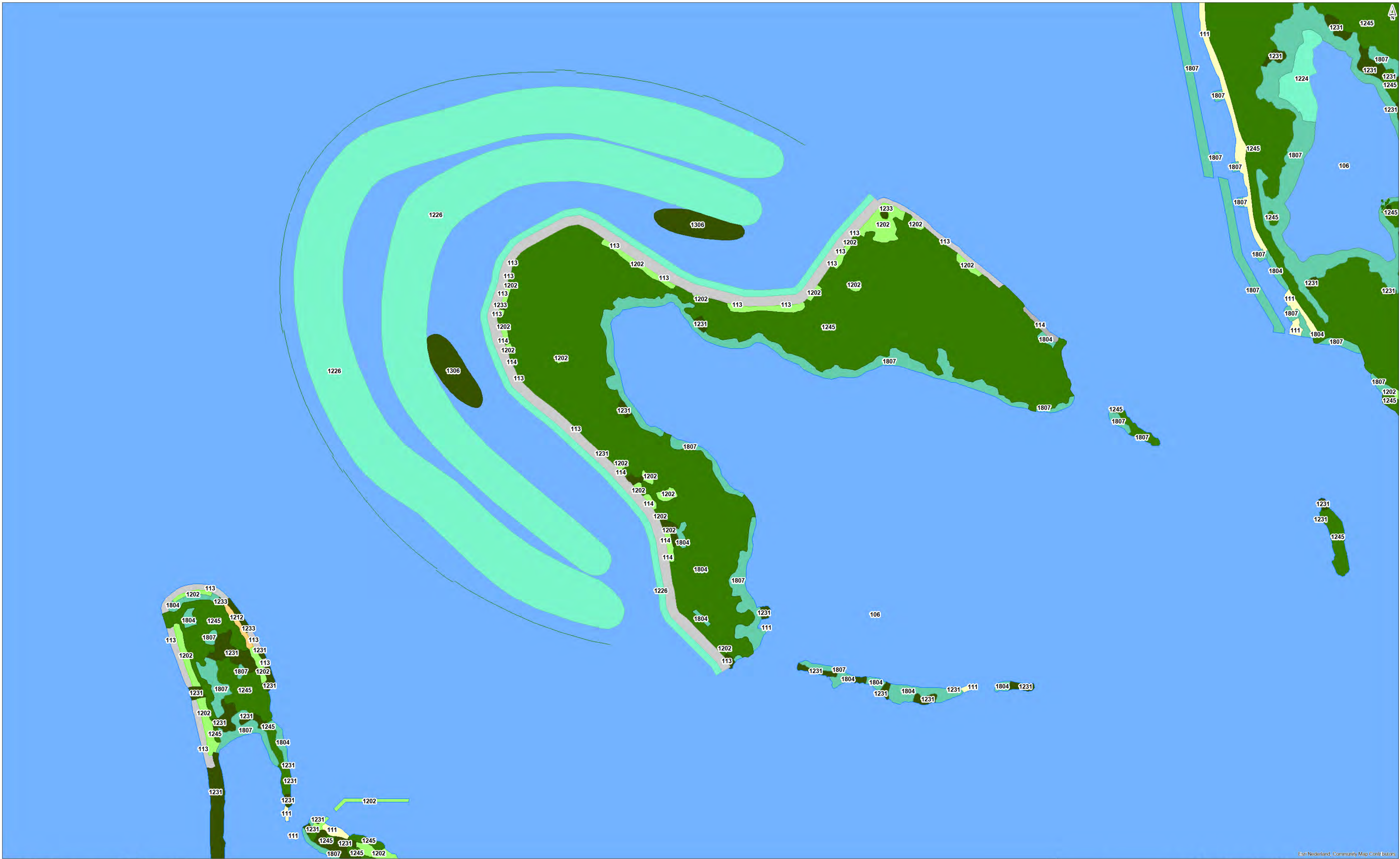
opdrachtgever: RWS

projectnaam: Planuitwerking KRW 3e tranche MN

projectcode: 131294

Witteveen

Bos



ruwheid_lijnen

ecotopen_ruwheid

RUWHEIDSCODE

Bebouwd/verhard terrein

Steenbekleding

Plas/haven/slikkige oever

Kribvakstrand/zandplaat/grindplaat

Natuurlijk grasland/hooiland

Ooibos

Struweel/griend

Ruigte

Natte vegetatie homogeen

Natte vegetatie met 25% water

getekend:

gecontroleerd:

goedgekeurd:

versie: 1

datum: 03-07-2024

tekeningnr: 0

formaat: A1 liggend

schaal: 1:2500

0

30

60

90

120

150 m

Planuitwerking KRW 3e tranche MN

KetelMeer: krw_zmkm_b2

Ruwheid

opdrachtgever: RWS

projectnaam: Planuitwerking KRW 3e tranche MN

projectcode: 131294

Witteveen

Bos

VII

BIJLAGE: BASELINE SCHEMATISATIE ZWARTE MEER



overlaten_routes

TYPE

krib (1)

kade (2)

hverschil (3)

breuklijnen_routes

bandlijnen_routes

Window Size: 20,000

Elevation

1 - 31.4

0.5 - 1

0 - 0.5

-0.5 - 0

-1 - -0.5

-1.5 - -1

21,122 - 40,24

15,81 - 21,122

14,107 - 15,81

12,996 - 14,107

12,058 - 12,996

11,132 - 12,058

10,077 - 11,132

8,782 - 10,077

7,044 - 8,782

5,073 - 7,044

3,24 - 5,073

1,144 - 3,24

-4,354 - 1,144

-12,712 - -4,354

-2 - -1.5

-2.5 - -2

-3 - -2.5

-3.5 - -3

-4 - -3.5

-4.5 - -4

-5 - -4.5

-5.5 - -5

-6 - -5.5

-21.51 - -6

-22.68 - -12,712

getekend: [redacted]

gecontroleerd:

goedgekeurd:

versie: 1

datum: 29-08-2023

tekeningnr: 0

formaat: A1 liggend

schaal: 1:22500

0

400

800

1200 m

Planuitwerking KRW 3e tranche MN

Referentie Zwarte Meer: krw_zmkm_ref

Bodemhoogte

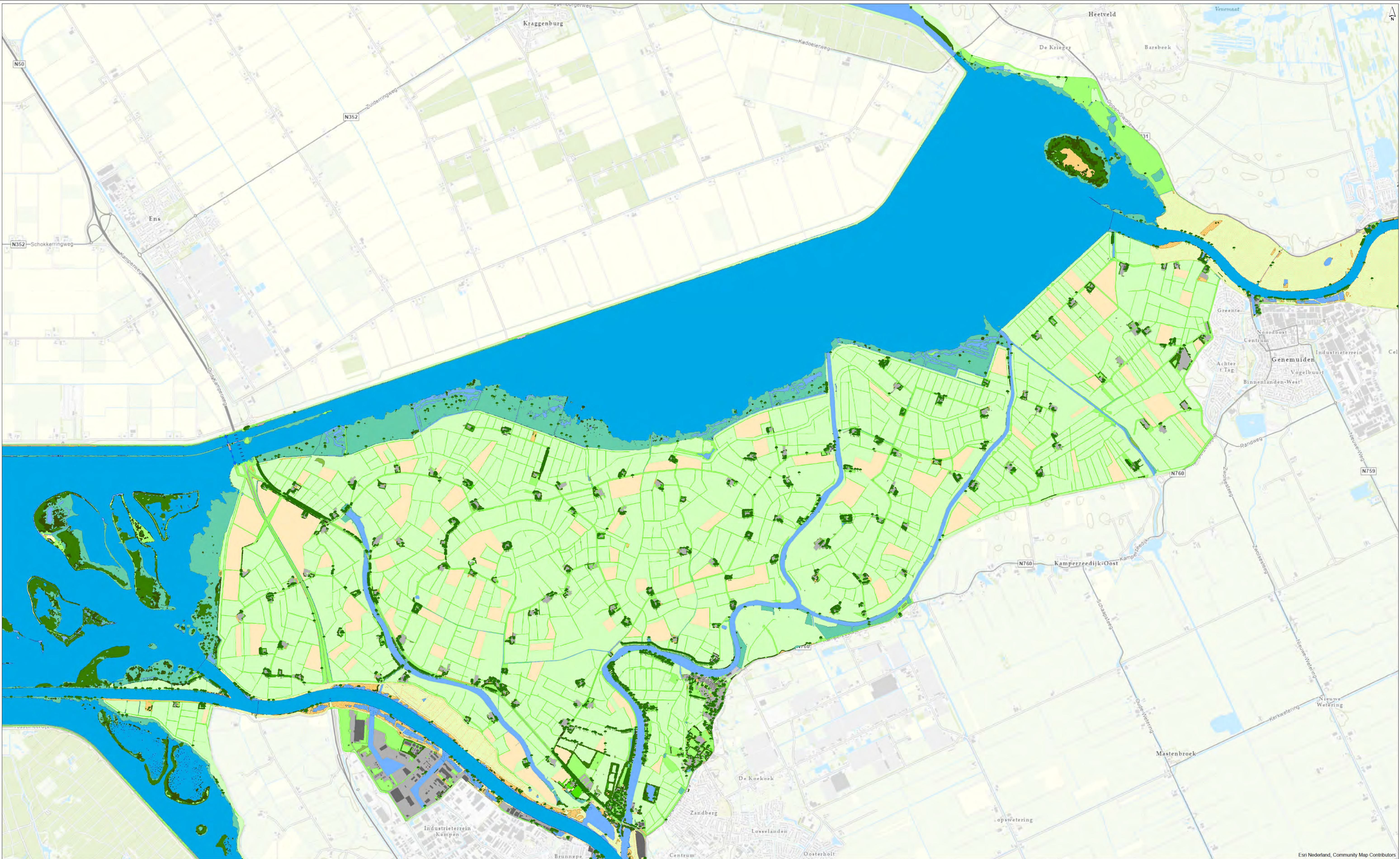
opdrachtgever: RWS

projectnaam: Planuitwerking KRW 3e tranche MN

projectcode: 131294

Witteveen

Bos



hoogwatervrij_lijnen

ruwheid_punten

ruwheid_lijnen

ruwheid_vlakken

RUWHEIDSCODE

Bebouwing/hoogwatervrij terrein

Bebouwd/verhard terrein

Steenbekleding

Vaste lagen

Zomerbed

Diepe bedding

Ondiepe bedding

Plas/haven/slikkige oever

Nevengeul

Meer

Strang

Kribvakstrand/zandplaat/grindplaat

Ruwe oever

Akker

Productiegrasland

Natuurlijk grasland/hooiland

Verruigd grasland

Boomgaard

Bomen

Productiebos

Ooibos

Heggen

Struweel/griend

Pioniersvegetatie

Riet

Ruigte

Natte vegetatie homogeen

Natte vegetatie met 25% water

Vegetatielegger, water

Vegetatielegger, verhard

Vegetatielegger, gras en akker

Vegetatielegger, riet en ruigte

Vegetatielegger, bos

Vegetatielegger, struweel

Vegetatielegger, mengklasse 90/10

Vegetatielegger, mengklasse 70/30

Vegetatielegger, mengklasse 50/50

Niet gecodeerd

Niet gedefinieerd

hoogwatervrij_vlakken

Niet gespecificeerd

Kenmerk

hwatvrij

gebouw

pijlers

getekend: [redacted]

gecontroleerd:

goedgekeurd:

versie: 1

datum: 28-08-2023

tekeningnr: 0

formaat: A1 liggend

schaal: 1:22500

0

400

800

1200 m

Planuitwerking KRW 3e tranche MN

Referentie Zwarte Meer: krw_zmkm_ref Ruwheid

opdrachtgever: RWS

projectnaam: Planuitwerking KRW 3e tranche MN

projectcode: 131294

Witteveen

Bos

VIII

BIJLAGE: TOELICHTING OP WIJZIGINGEN MODELLEN

VIII.1 Handmatige aanpassingen aan de bodemhoogte

Bij de projectie van de Baselineschematisatie op het rekenrooster van de stromings- en golfmodellen ontstonden er buiten de omtrek van de geïmplementeerde Baselinemaatregel verschillen in bodemhoogte ten opzichte van de referentiesituatie. Dit fenomeen is vaker opgetreden in andere projecten. De oorzaak is bekend en ligt in een verkeerde ligging van de zomerbedpunten in het IJsselmeer. Deze moeten random verschoven zijn. Dat is niet zo in de gebruikte actualisatie, met als gevolg een net iets ander bodemhoogte in de variant dan in de referentie. Verschillen in bodemhoogte waren in de orde van enkele millimeters tot centimeters.

Om te voorkomen dat deze bodemverschillen de modelresultaten beïnvloedden, is ervoor gekozen alle bodempunten in de stromings- en golfmodellen die zich buiten de omtrek van de maatregel bevonden te vervangen door de bodemhoogte afkomstig uit de referentiemodellen.

VIII.2 Afleiden beginvoorwaarden stromingsmodellen

De stromingsmodellen zijn ingezet gebruik makende van randvoorwaarden die niet standaard zijn meegeleverd bij het model. Voor deze randvoorwaarden waren dan ook geen initiële stroom- en waterstandsvelden beschikbaar. Deze zijn daarom opgesteld met behulp van inspeelsimulaties. Hiervoor zijn de randvoorwaarden gebruikt die gelden op de eerste tijdstap van de uiteindelijke simulaties waarvoor deze van toepassing waren, zonder invloed van wind.

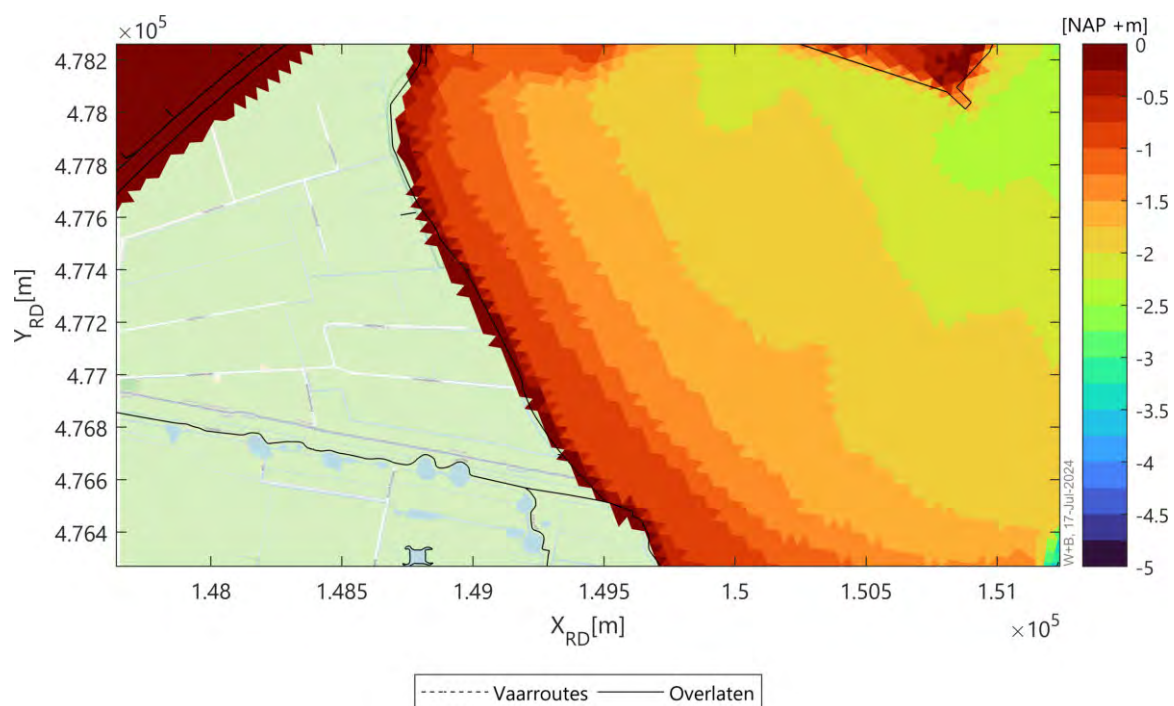
Gedurende de inspeelsimulaties is erop gelet dat de waterstanden in het model gelijk blijven aan de streefpeilen passende bij de gemodelleerde scenario's, door het opleggen van juiste instroom- en uitstroomvoorwaarden. Daarnaast zijn de inspeelsimulaties voldoende lang gedraaid zodat de waterstand en stroomsnelheid op diverse meetpunten verspreid door het modeldomein geconvergeerd waren tegen het einde van de inspeelsimulatie.

IX

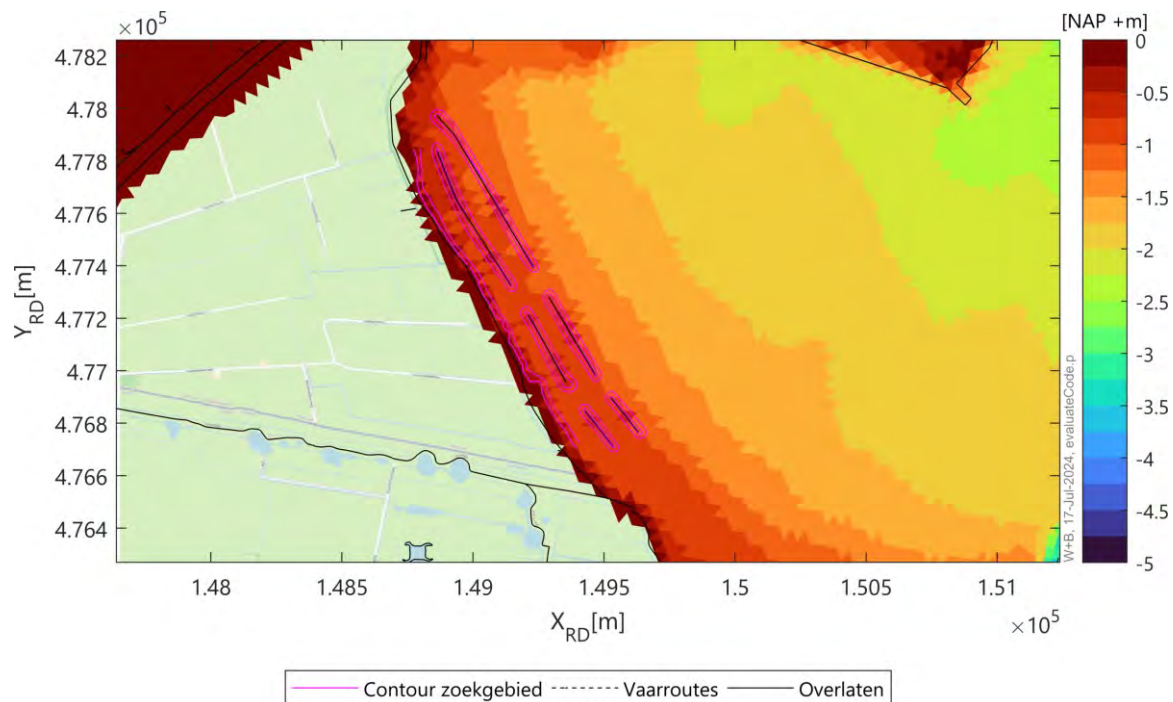
BIJLAGE: MODELSCHEMATISATIE EEMMEER

IX.1 D-HYDRO model Eemmeer

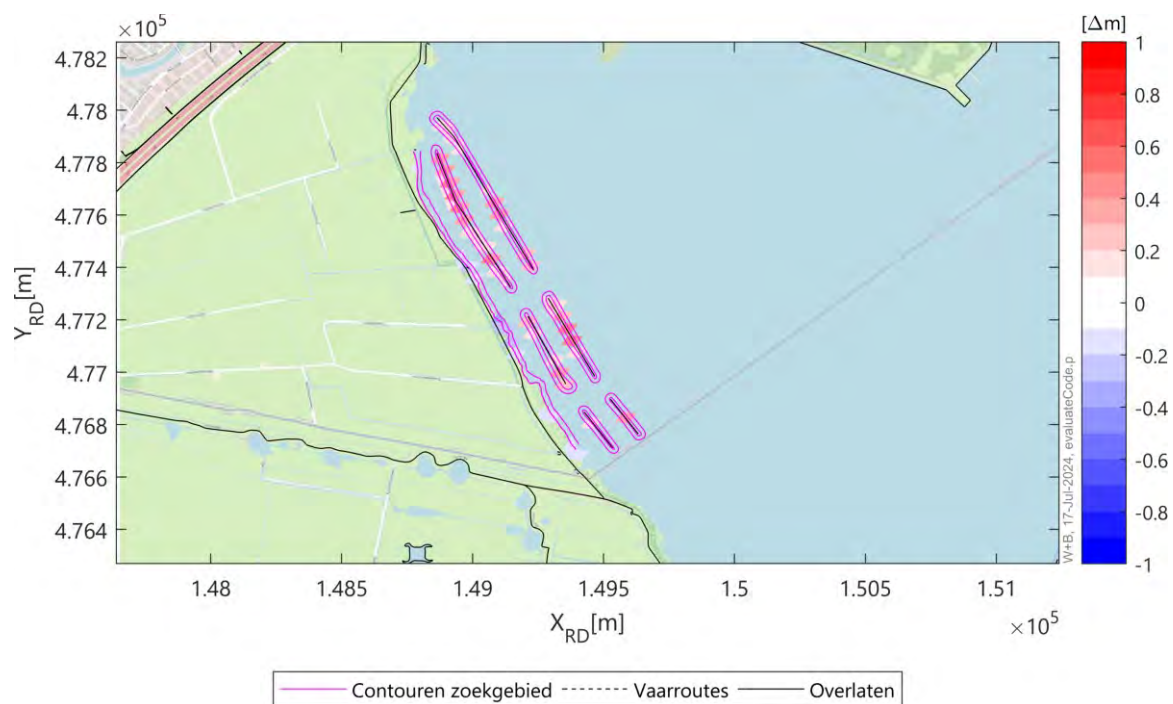
Afbeelding IX.1 Bodemhoogte en overlaten rondom zoekgebied 4 in het D-HYDRO model (huidige situatie)



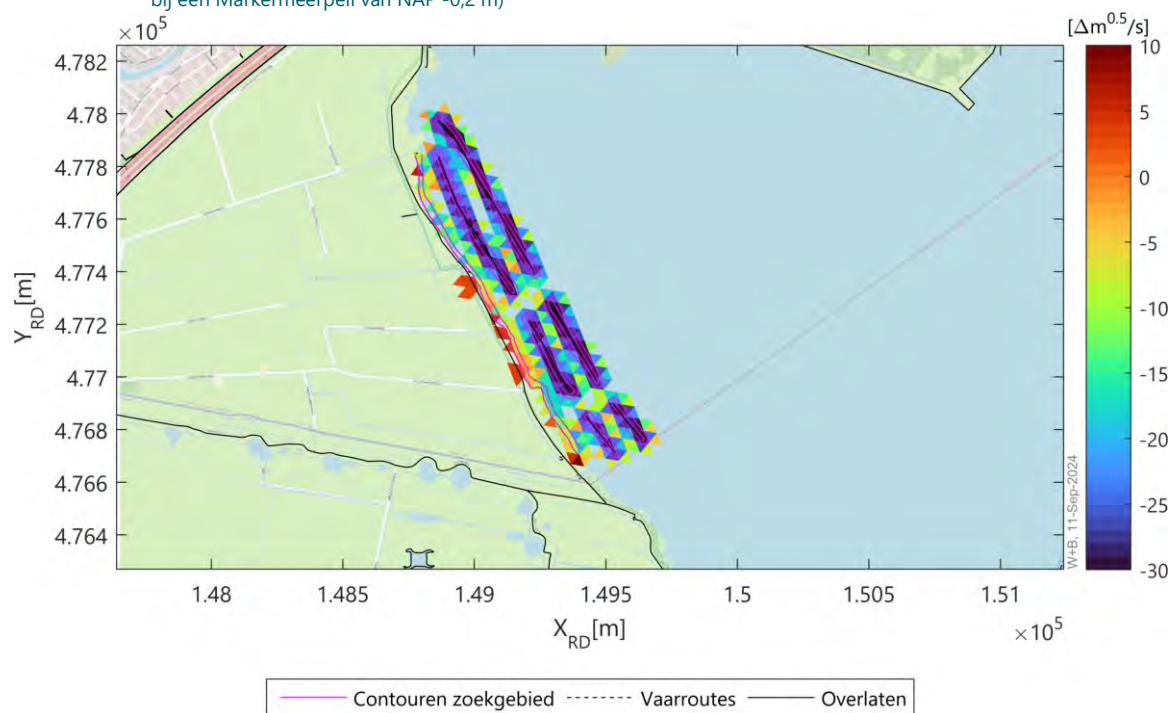
Afbeelding IX.2 Bodemhoogte en overlaten rondom zoekgebied 4 in het D-HYDRO model (inclusief VKA)



Afbeelding IX.3 Verschil in bodemhoogte rondom zoekgebied 4 in het D-HYDRO-model (VKA ten opzichte van de huidige situatie)



Afbeelding IX.4 Verschil in chezyruwheid rondom zoekgebied 4 in het D-HYDRO-model (VKA ten opzichte van de huidige situatie, bij een Markermeerpeil van NAP -0,2 m)

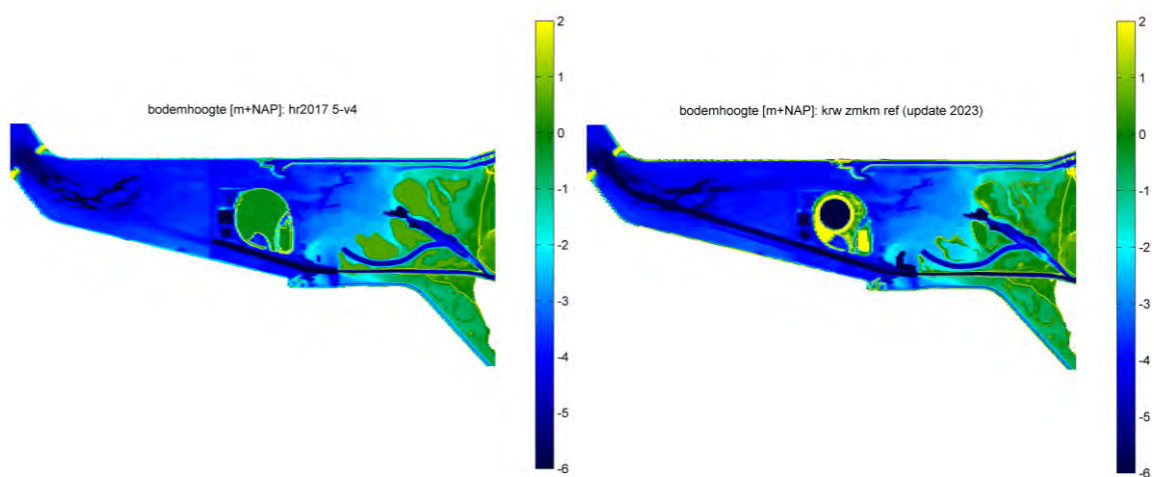




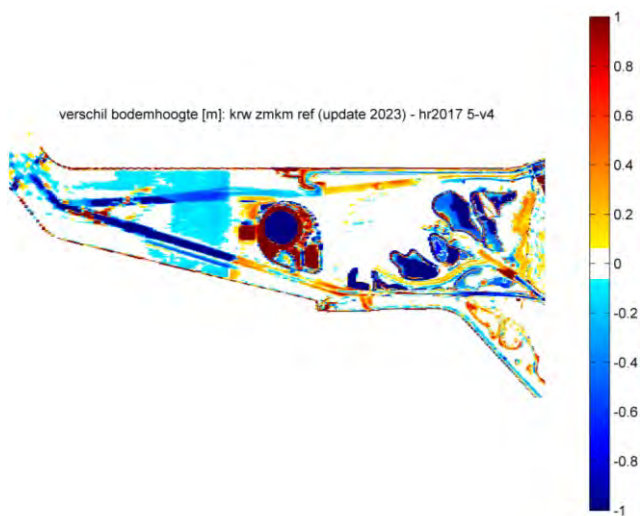
BIJLAGE: MODELSCHEMATISATIE KETELMEER

X.1 Actualisatie referentiesituatie WAQUA model Ketelmeer

Afbeelding X.1 Bodemhoogte Ketelmeer in WAQUA model. Links: HR2017_5-v4. Rechts: update juli 2023

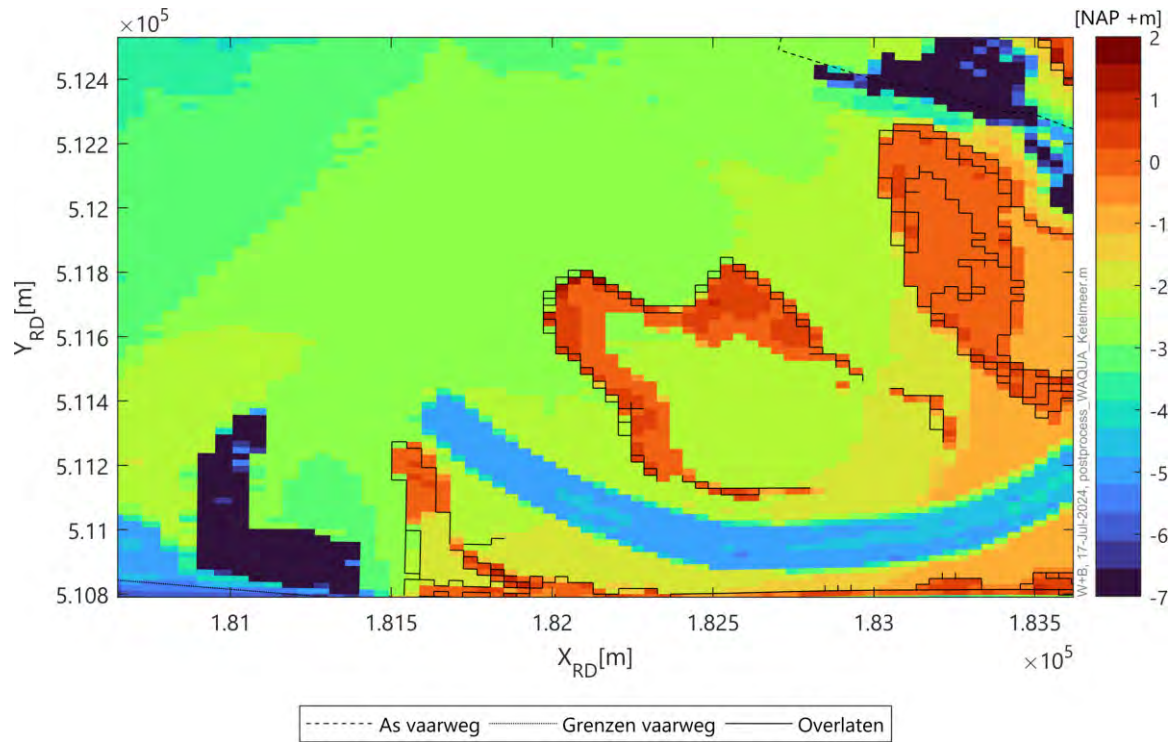


Afbeelding X.2 Verschil in bodemhoogte [m] in Ketelmeer in WAQUA model als gevolg van actualisatie referentiesituatie

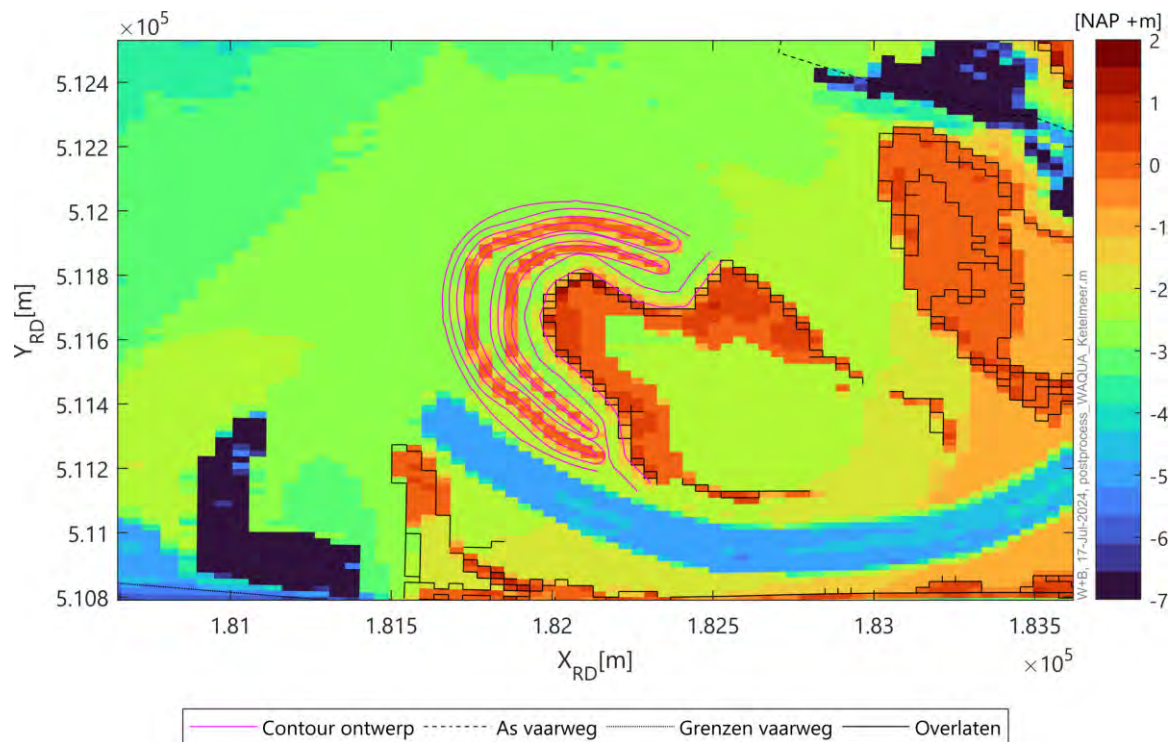


X.2 WAQUA model Ketelmeer

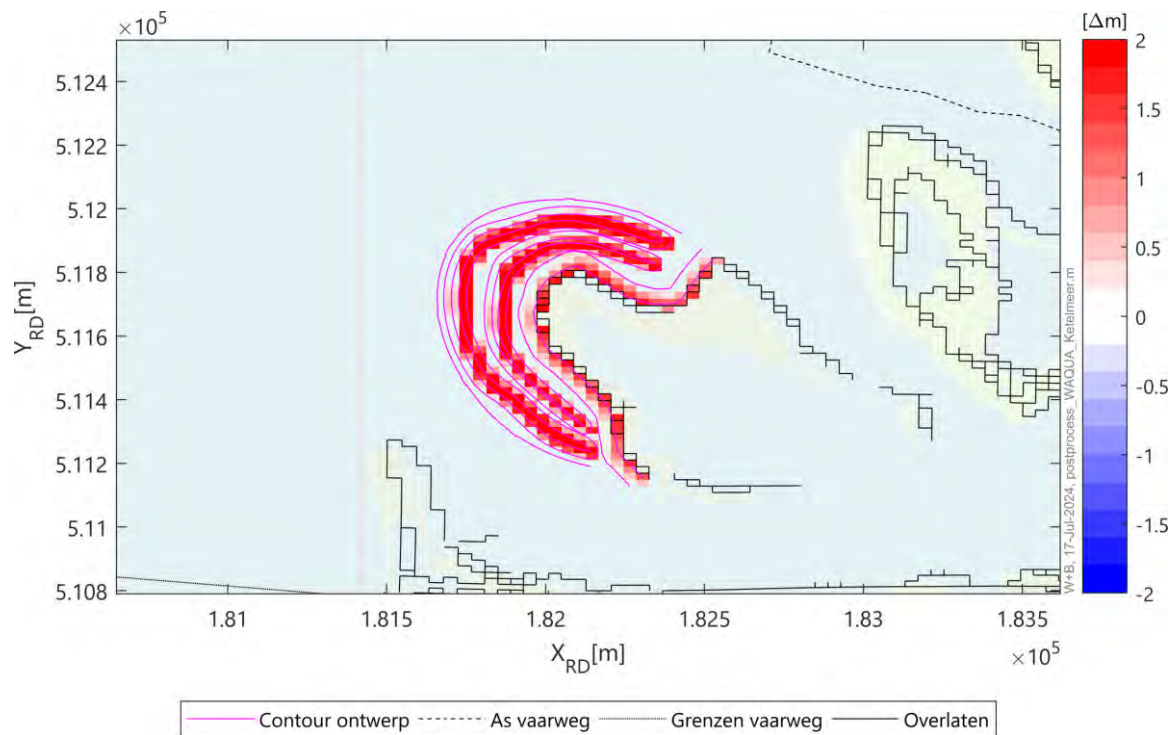
Afbeelding X.3 Bodemhoogte en overlaten rondom zoekgebied 11 in het WAQUA-model (huidige situatie)



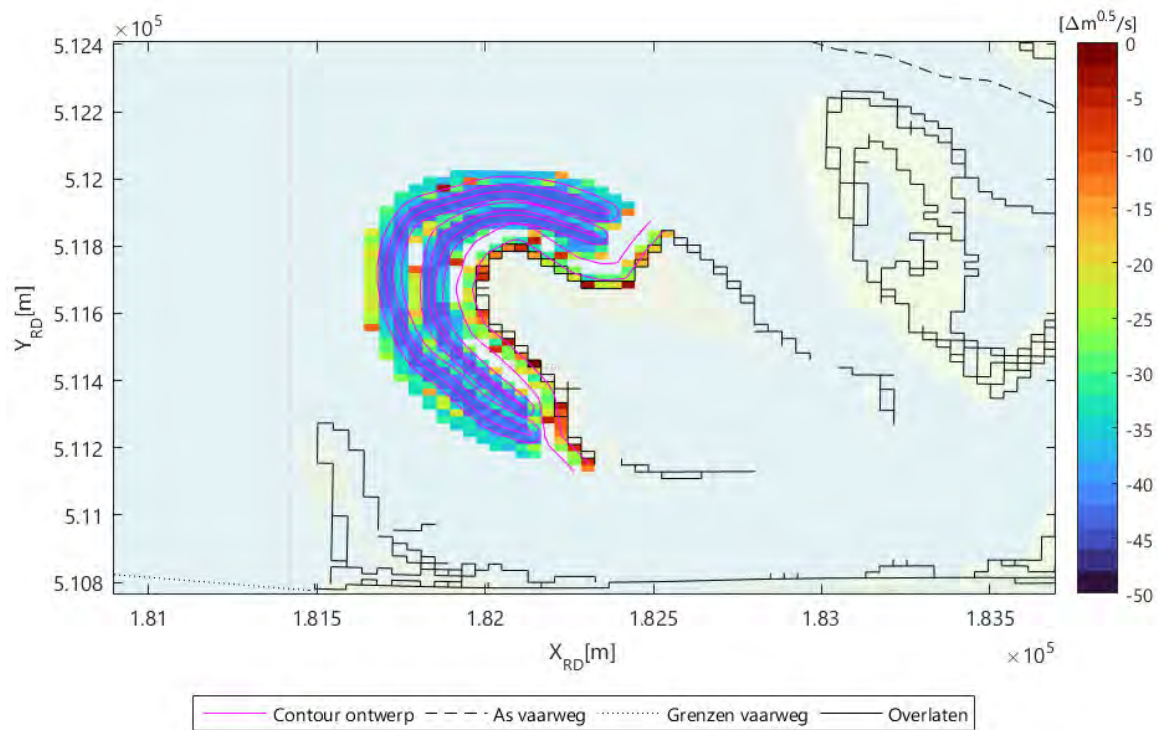
Afbeelding X.4 Bodemhoogte en overlaten rondom zoekgebied 11 in het WAQUA-model (inclusief VKA)



Afbeelding X.5 Verskil in bodemhoogte rondom zoekgebied 11 in het WAQUA-model (VKA ten opzichte van de huidige situatie)



Afbeelding X.6 Verskil in chezyruwheid rondom zoekgebied 11 in het WAQUA-model (VKA ten opzichte van de huidige situatie, bij een IJsselmeerpeil van -0,2 m NAP)

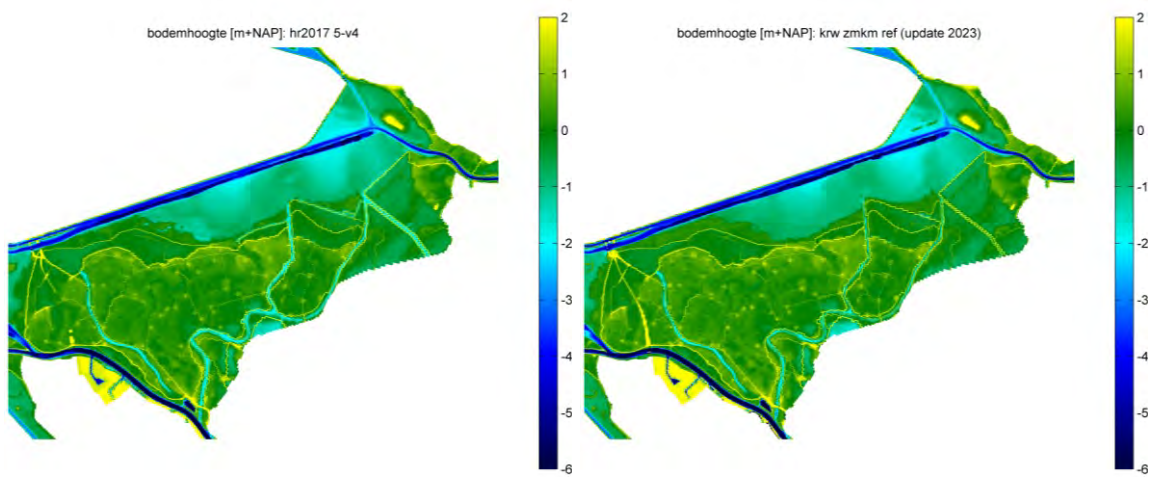


XI

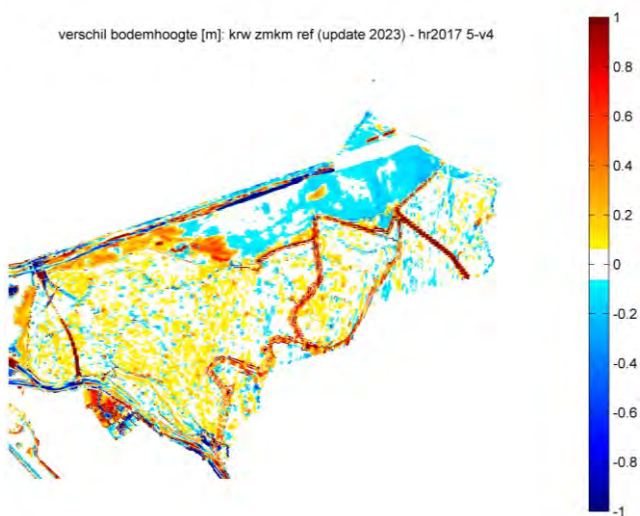
BIJLAGE: MODELSCHEMATISATIE ZWARTE MEER

XI.1 Actualisatie referentiesituatie WAQUA model Zwarte Meer

Afbeelding XI.1 Bodemhoogte Zwarte Meer in WAQUA model. Links: HR2017_5-v4. Rechts: update juli 2023

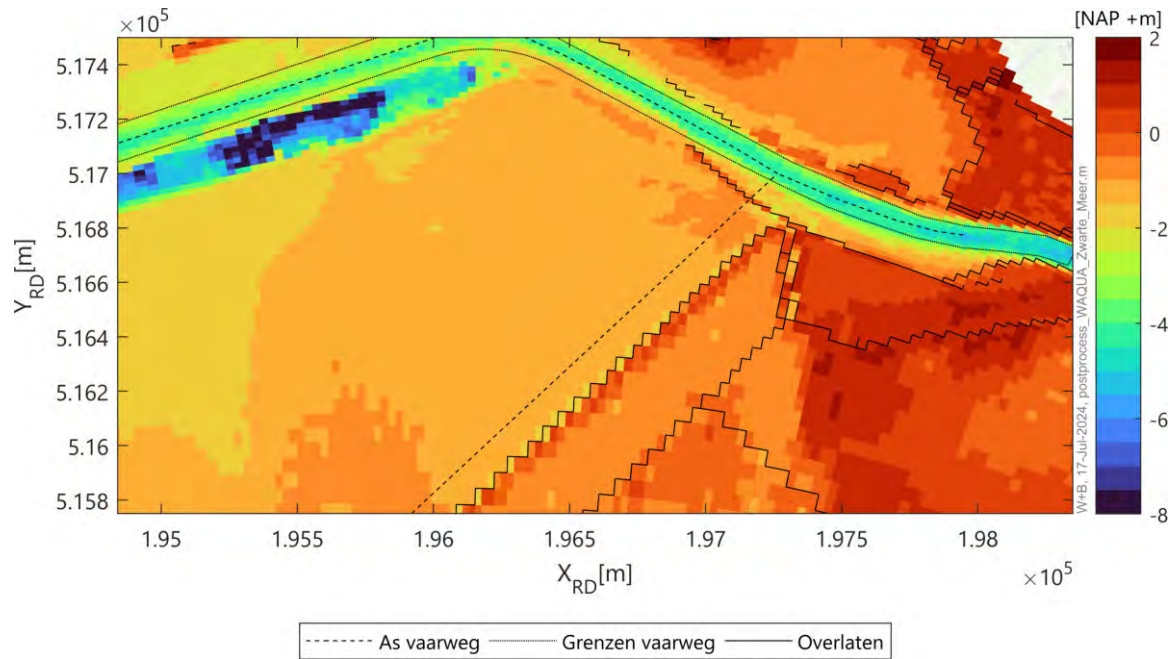


Afbeelding XI.2 Verschil in bodemhoogte [m] in Zwarte Meer in WAQUA model als gevolg van actualisatie referentiesituatie

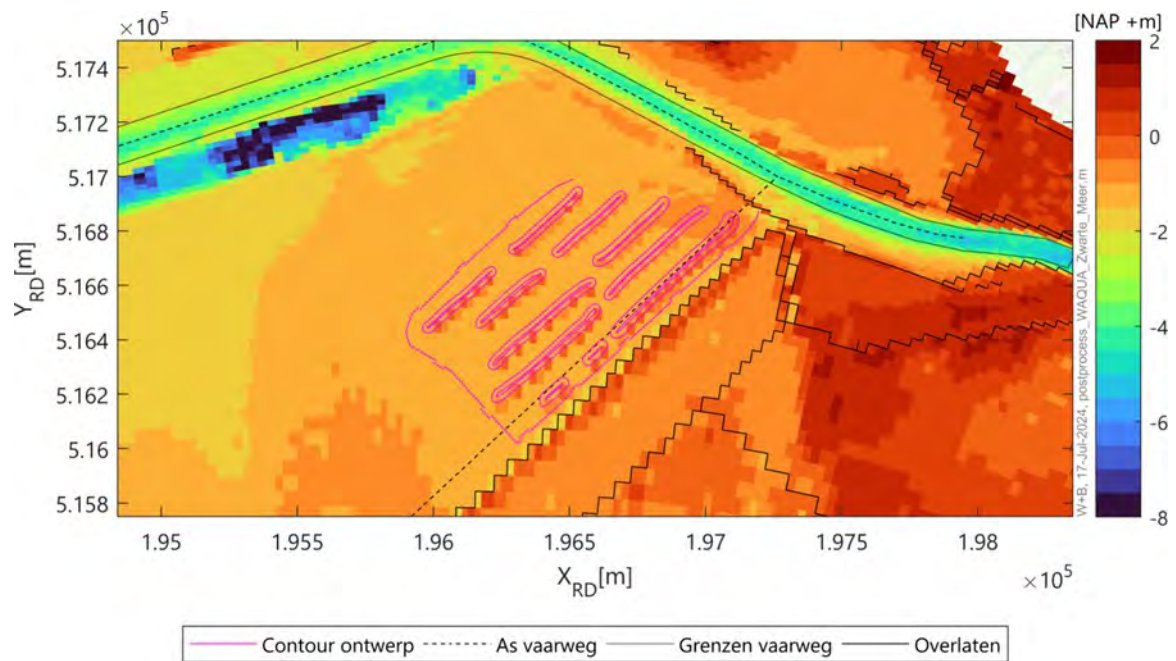


XI.2 WAQUA model Zwarte Meer

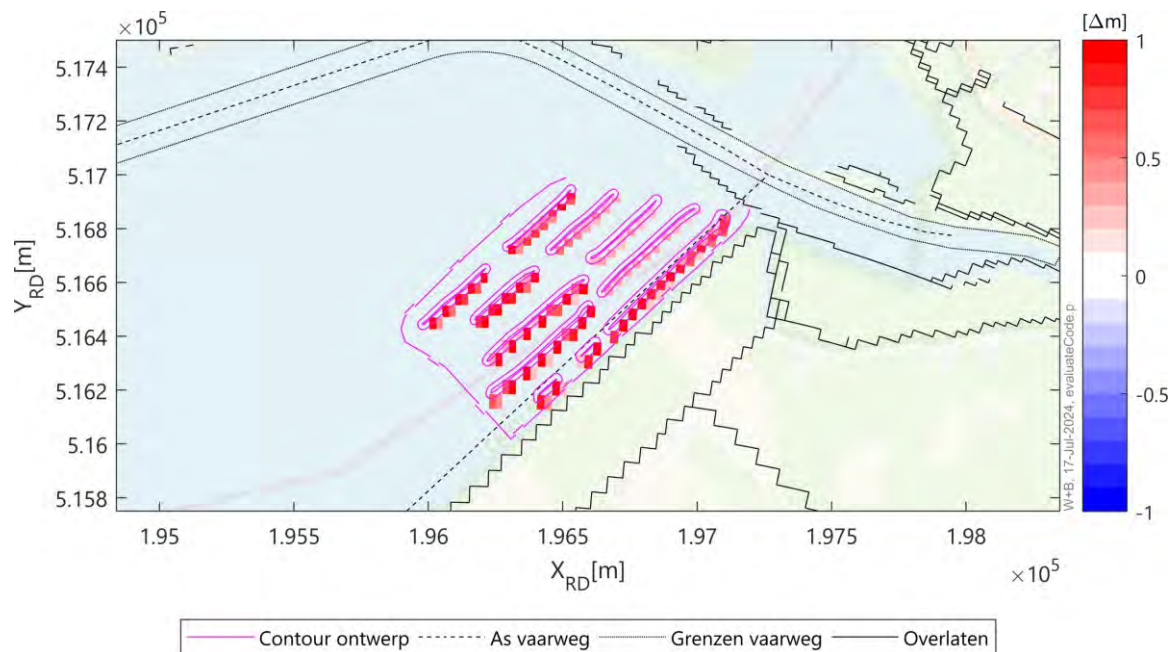
Afbeelding XI.3 Bodemhoogte en overlaten rondom zoekgebied 14 in het WAQUA-model (huidige situatie)



Afbeelding XI.4 Bodemhoogte en overlaten rondom zoekgebied 14 in het WAQUA-model (inclusief VKA)



Afbeelding XI.5 Verschil in bodemhoogte rondom zoekgebied 14 in het WAQUA-model (VKA ten opzichte van de huidige situatie)



Afbeelding XI.6 Verschil in Chezy ruwheid rondom zoekgebied 14 in het WAQUA-model (VKA ten opzichte van de huidige situatie, bij een IJsselmeerpeil van NAP -0,2 m)

