

ACHTERGRONDRAPPORT OPPERVLAKTEWATER

Project-MER PALLAS

Stichting Voorbereiding PALLAS-reactor

23 MEI 2022 - AS3-PUBLIC



Contactpersoon

[Redacted contact information]

Arcadis Nederland B.V.

[Redacted contact information]

Nederland

INHOUDSOPGAVE

1	INLEIDING	5
1.1	Functie van dit achtergrondrapport	5
1.2	Voorgenomen activiteit	5
1.3	Leeswijzer	5
2	ONDERZOEKSMETHODIEK	6
2.1	Onderzoeksopzet	6
2.1.1	Koelwateronttrekking	6
2.1.2	Koelwaterlozing - warmte	6
2.1.3	Koelwaterlozing - waterkwaliteit	6
2.2	Uitgangspunten	7
2.2.1	Koelwateronttrekking	7
2.2.2	Koelwaterlozing – warmte	7
2.2.3	Koelwaterlozing - waterkwaliteit	8
3	BEOORDELINGSKADER	9
3.1	Wettelijk- en beleidskader	9
3.1.1	Koelwateronttrekking en -lozing	9
3.1.2	Waterkwaliteit	9
3.2	Beoordelingskader	12
4	HUIDIGE SITUATIE EN AUTONOME ONTWIKKELING	16
4.1	Huidige situatie	16
4.1.1	Koelwateronttrekking	16
4.1.2	Koelwaterlozing – warmte	16
4.1.3	Koelwaterlozing – waterkwaliteit	16
4.2	Autonome ontwikkeling	18
4.2.1	Koelwateronttrekking	18
4.2.2	Koelwaterlozing – warmte	18
4.2.3	Koelwaterlozing - waterkwaliteit	18
5	MILIEUEFFECTEN	19
5.1	Effectbeschrijving	19
5.1.1	Koelwateronttrekking	19
5.1.2	Koelwaterlozing - warmte	20
5.1.3	Koelwaterlozing - waterkwaliteit	20
5.2	Effectbeoordeling	26

6	MITIGERENDE MAATREGELEN	27
6.1	Koelwateronttrekking	27
6.2	Koelwaterlozing - warmte	27
6.3	Koelwaterlozing - waterkwaliteit	27
7	LEEMTEN IN KENNIS	28
7.1	Koelwateronttrekking	28
7.2	Koelwaterlozing – warmte	28
7.3	Koelwaterlozing – waterkwaliteit	28
8	LITERATUURLIJST	29
	BIJLAGE 1 EMISSIE-IMMISSIETOETS	30
	BIJLAGE 2 KOELWATERLOZINGSSTUDIE	37
	COLOFON	39

1 INLEIDING

1.1 Functie van dit achtergrondrapport

De Stichting Voorbereiding PALLAS-reactor, verder PALLAS genoemd, heeft het voornemen om een multifunctionele nucleaire reactor te bouwen, die geschikt is voor het produceren van medische isotopen, industriële isotopen en het uitvoeren van nucleair technologisch onderzoek. Bij het bestemmingsplan PALLAS-plot is een plan-MER (milieueffectrapport) gevoegd ter onderbouwing.

Als belangrijke volgende stap in de procedures worden de vergunningen georganiseerd onder de Kernenergiewet en de Waterwet. Dit achtergrondrapport is opgesteld ten behoeve van het project-MER dat deze vergunningen moet onderbouwen. In het project-MER zelf is op hoofdlijnen de informatie uit dit achtergrondrapport overgenomen. Dit achtergrondrapport is gebaseerd op het Ontwerpkader, dat ook deel uitmaakt van het project-MER.

1.2 Voorgenomen activiteit

De voorgenomen activiteit voor dit achtergrondrapport is de aanleg en het exploiteren van de PALLAS-reactor. De informatie die nodig is op project-MER niveau is te vinden in het rapport Ontwerpkader, welke als bijlage is toegevoegd aan het project-MER. De hoofdpunten uit het Ontwerpkader zijn:

1. Het PALLAS-project kent een bouwfase, een overgangsfase en een exploitatiefase.
2. De bouwfase is opgedeeld in vijf clusters van bouwactiviteiten, te weten (a) Inrichting Lay Down Area (LDA) en tijdelijke toegangsweg, (b) Constructie secundaire koeling, (c) Bouwkuip, fundering en constructie reactorgebouw, (d) Constructie gebouwen, installatie en infrastructuur en (e) Afronding LDA en inrichting terrein. De bouwfase duurt in totaal ongeveer zes jaar.
3. In de overgangsfase zijn er twee reactoren in bedrijf op de Energy & Health Campus (EHC): de nieuwe PALLAS-reactor en de bestaande Hoge Flux Reactor (HFR).
4. In de exploitatiefase is de PALLAS-reactor in bedrijf en is de HFR buiten bedrijf gesteld.

Dit achtergrondrapport behandelt de bouwfase en de exploitatiefase. De overgangsfase van de PALLAS-reactor is voor energie en CO₂ niet onderscheidend en wordt hier om die reden niet behandeld.

1.3 Leeswijzer

Na dit eerste hoofdstuk:

- Beschrijft hoofdstuk 2 de gehanteerde onderzoeksmethodiek.
- Geeft hoofdstuk 3 het beoordelingskader.
- Zet hoofdstuk 4 de referentiesituatie uiteen, die bestaat uit de huidige situatie en relevante autonome ontwikkelingen.
- Staan in hoofdstuk 5 de milieueffecten beschreven.
- Somt hoofdstuk 6 op welke mitigerende maatregelen mogelijk zijn om negatieve milieueffecten te verminderen of op te heffen.
- Presenteert hoofdstuk 7 de geconstateerde leemten in kennis.
- Geeft hoofdstuk 8 inzicht in de bronnen voor dit achtergrondrapport.

2 ONDERZOEKSMETHODIEK

2.1 Onderzoeksopzet

2.1.1 Koelwateronttrekking

Voor de koeling van de HFR wordt gebruik gemaakt van koelwater. Dit geldt ook voor de nieuwe PALLAS-reactor. De hoeveelheid koelwater die nodig is voor de PALLAS-reactor wordt vergeleken met de huidige vergunde situatie en met de capaciteit die voorhanden is. Dezelfde vergelijking wordt gemaakt voor de overgangsfase, waarin de HFR en PALLAS-reactor allebei in werking zijn.¹

Het Hoogheemraadschap Hollands Noorderkwartier (HHNK) formuleert de voorwaarden voor de inname van de hoeveelheid zoetwater uit het watersysteem dat in beheer is bij het HHNK, in dit geval het Noordhollandsch Kanaal. Binnen deze randvoorwaarden bepaalt PALLAS of er voldoende capaciteit is en voor welk doel.

2.1.2 Koelwaterlozing - warmte

Voor de beoordeling van de koelwaterlozing is gebruik gemaakt van verschillende numerieke modellen. De ruimtelijke en temporele schalen waarnaar gekeken dient te worden bij de beoordeling van de effecten van de koelwaterlozing op zee verschillen sterk. Enerzijds is er de lokale menging rondom de uitlaat en anderzijds de opwarming over langere tijd langs de Nederlandse kust. Beide combineren in één model leidt tot ofwel zeer lange rekentijden ofwel zeer onnauwkeurige oplossingen. Vandaar dat er in deze studie gebruik is gemaakt van twee numerieke modellen:

- FLOW-3D: geschikt voor tijdsafhankelijke (vaak ook quasi-stationaire) stroming op kleinere ruimtelijke en temporele schalen.
- Delft3D: geschikt voor de tijdsafhankelijke stroming op grotere ruimtelijke en temporele schalen.

De volgende vier stappen zijn uitgevoerd voor de koelwaterstudie:

1. Het bestaande, grootschalige Delft3D-model van de Nederlandse kust (Kuststrook) wordt gevalideerd om te kijken of het in staat is om de watertemperatuur van de Noordzee correct te modelleren.
2. Dit model wordt ook gebruikt om de omgevingscondities af te leiden ter plaatse van de koelwater-uitlaat (stroomsnelheden, saliniteit). Omdat de resolutie van het oorspronkelijke model relatief grof is, is er een lokale verfijning toegepast rondom de uitlaat.
3. Middels een CFD-studie (Computational Fluid Dynamics) met FLOW-3D wordt de lokale menging van de koelwaterlozing nabij de uitlaat geanalyseerd op korte tijdschalen. Dit is gedaan voor vier maatgevende condities: winterkentering, zomerkentering, winter maximale getijstroming en zomer maximale getijstroming.
4. Met het grootschalige model onder 2 wordt gekeken hoe de koelwaterlozing(en) zich grootschalig en over langere tijdschalen verspreidt. Dit is gedaan voor twee situaties en elk voor twee relevante condities: overgangsfase winter en zomer en exploitatiefase winter en zomer.

Door voor de laatste twee stappen te kijken naar de vier meest extreme combinaties van condities, wordt inzicht verkregen in de bovengrens van de effecten die kunnen optreden. Hierbij is gekeken naar een wintersituatie, waarbij de temperatuurverschillen tussen koelwater en omgeving maximaal zijn en dus het oprijvende vermogen het grootst, en een zomersituatie, wanneer de omgevingstemperatuur het warmst is en dus eerder de kritische grens van 25 °C kan worden overschreden, maar tegelijkertijd het temperatuurverschil het kleinst is.

¹ Tijdens de bouwfase is er voor de aanmaak van bentoniet ook water nodig, in totaal circa 10.000 m³. Dit water zal worden gepompt uit de koelwaterkelder van de HFR en is dus extra water afkomstig uit het Noordhollandsch Kanaal. Ten opzichte van de hoeveelheid koelwater voor de HFR is dit dusdanig weinig water, dat hier geen verdere aandacht aan is gegeven.

2.1.3 Koelwaterlozing - waterkwaliteit

Het te lozen koelwater bevat sporen van milieuverontreinigende stoffen, als gevolg van een koelwateradditief. In het secundaire koelwatersysteem wordt door middel van een zoutelectrolyse vrij chloor gedoseerd als aangroeiwerend middel.

Het te lozen koelwater bevat hierdoor resten vrij beschikbaar chloor en schadelijke omzettingproducten hiervan (vooral chloroform en, onder invloed van geringe achtergrondconcentraties van bromide in het koelwater, bromoform).

Dit kan in potentie gevolgen hebben voor de chemische en/of de ecologische waterkwaliteit. Hiervoor zijn doelstellingen vastgesteld in het kader van de Europese Kaderrichtlijn Water (zie paragraaf 3.1.2).

De effecten van de lozing van deze stoffen op de Noordzee worden beoordeeld op basis van het ‘Toetsingskader waterkwaliteit’, dat onderdeel uitmaakt van het Beheer- en ontwikkelplan voor de Rijkswateren 2016 – 2021 [1]. Dit generieke toetsingskader wordt onder meer gehanteerd bij de verlening en wijziging van watervergunningen. Het is gericht op het beoordelen van mogelijke verslechtingen als gevolg van fysieke ingrepen of emissies van stoffen. Het toetsingskader bestaat uit twee delen: een deel voor het beoordelen van emissies van stoffen en een deel voor het beoordelen van fysieke ingrepen. De beoordeling van de emissies van stoffen is vastgelegd in het Handboek Immissietoets [2], dat onderdeel uitmaakt van het toetsingskader.

Het lozen van stoffen wordt beoordeeld met de emissie-immissietoets, conform het Handboek Immissietoets. Het aanbrengen van de lozingsconstructie kan worden aangemerkt als fysieke ingreep, met potentiële effecten op aquatische flora en fauna (biologische waterkwaliteit). Hier wordt aan de hand van het toetsingskader waterkwaliteit op ingegaan.

2.2 Uitgangspunten

2.2.1 Koelwateronttrekking

Koelwater ten behoeve van de secundaire koeling van de PALLAS-reactor wordt onttrokken uit het Noordhollandsch Kanaal, met een maximaal debiet van 3.300 m³/uur en 75.000 m³/dag. Het ontwerp maakt een visretourleiding overbodig, maar er wordt wel ruimte voor vrijgehouden.

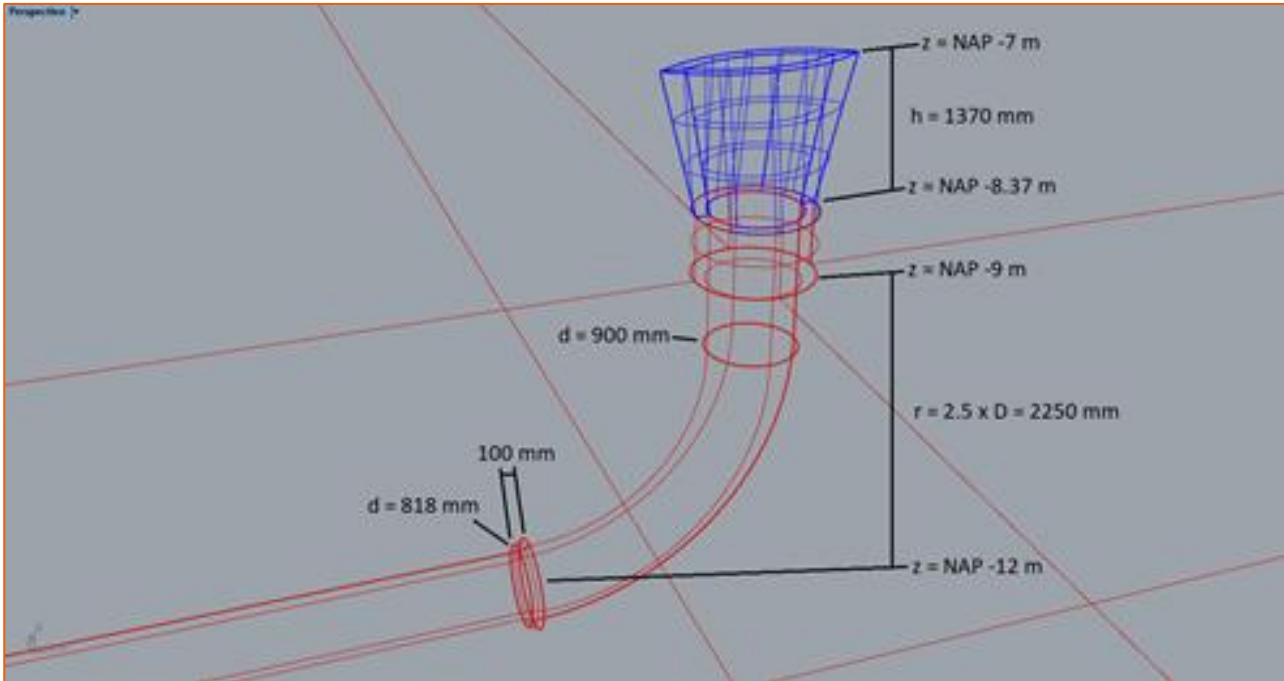
2.2.2 Koelwaterlozing – warmte

De uitgangspunten voor het aspect Koelwateronttrekking en -lozing zijn weergegeven in Tabel 1.

Tabel 1 *Uitgangspunten koelwaterlozing*

Aspect	Uitgangspunt
Vermogen PALLAS-reactor	25MW _{th}
Lozingsdebiet	Maximaal 3.300 m ³ /uur water (0,92 m ³ /s)
Lozingstemperatuur	Maximaal 35 °C, incidenteel 45 °C
Afstand lozing uit de kust	Ca. 650 m uit de Rijkstrandpalenlijn (RSP)
Waterdiepte	-7 m NAP = 2 m boven bodem van -9 m NAP
Stroomsnelheid zeewater bij de lozing	Tussen 0 m/s (kentering) en 0,85 m/s (maximale vloedstroom)

In overleg met PALLAS is voor de lozingstemperatuur een conservatieve waarde van 45°C aangehouden. De modellering van incidenteel een lozingstemperatuur van 45°C betreft een extreme worst case situatie. Een dergelijke situatie zal hooguit zeer kortdurend plaatsvinden, omdat met zo een temperatuur de reactor zal worden uitgeschakeld. Het ontwerp van de uitlaat is weergegeven in Figuur 1.



Figuur 1 3D CAD model van de uitlaat

Vanaf de kust af gezien, bestaat het ontwerp uit een:

1. Aanvoerleiding met een binnendiameter van 818 mm, met de hartlijn op NAP -12,0 m.
2. Overgangsstuk van binnendiameter 818 mm naar binnendiameter 900 mm, lengte 100 mm.
3. Bochtstuk met een binnendiameter van 900 mm en een bochtstraal van $2,5 \cdot D = 2250$ mm.
4. Recht stuk met een binnendiameter van 900 mm van NAP -9,75 m naar NAP -8,37 m.
5. Duckbill valve, type ProFlex 710 van PROCO om retourstroming de uitlaat in te voorkomen.

2.2.3 Koelwaterlozing - waterkwaliteit

Significante effecten op de waterkwaliteit in het Noordhollandsch Kanaal en de duinwateren in en rond het plangebied zijn niet te verwachten en worden daarom in dit rapport niet beoordeeld. Dit is nader toegelicht in paragraaf 3.1.2.

Het koelwater in het secundaire koelwatersysteem komt niet in contact met radioactieve stoffen. Desondanks wordt het koelwater voorafgaand aan de lozing gecontroleerd op radioactiviteit. Een verhoogde radioactiviteit is denkbaar als gevolg van een lekkage in een warmtewisselaar tussen het primaire en het secundaire koelwatersysteem. In dat geval kan op basis van de grenswaarden in de Veiligheids-technische Specificaties (VTS) besloten worden tot het afschakelen van de reactor en vervolgens van het koelwatersysteem. De kortdurende lozing van radioactief besmet koelwater die zich in deze calamiteitensituatie voordoet wordt niet voorzien en daarom niet in deze rapportage beoordeeld.

De stromingscondities ter plaatse van het lozingspunt zijn van invloed op de verspreiding van stoffen die in het te lozen water aanwezig zijn. Voor de stromingscondities is gebruik gemaakt van het toetsinstrument van Rijkswaterstaat, behorend bij de Emissie-immissietoets. Door het invullen van de locatie in deze toets wordt de stroomsnelheid uit de onderliggende database gehaald en weergegeven.

De verdere uitgangspunten ten behoeve van waterkwaliteit zijn beschreven in het verslag van de Emissie-immissietoets dat integraal in bijlage 1 is opgenomen.

3 BEOORDELINGSKADER

3.1 Wettelijk- en beleidskader

3.1.1 Koelwateronttrekking en -lozing

Waterwet

Onttrekken en lozen van koelwater heeft een vergunningplicht op grond van de Waterwet. Als warm water geloosd wordt in oppervlaktewater, dan worden in de watervergunning eisen gesteld aan deze lozing om de kwaliteit van het oppervlaktewater te beschermen. Er worden onder meer eisen opgenomen over de maximale warmtevracht van het te lozen water en de hoeveelheid water dat geloosd mag worden. Tevens worden eisen gesteld aan de maximale onttrekking die er plaats mag vinden.

De koelwaterlozing in het kader van de Waterwet is vergunbaar wanneer voor het kustwater het volgende geldt [3]:

- De opwarming blijft beperkt tot 2°C ten opzichte van de achtergrondtemperatuur, tot een maximum van 25°C.
- De mengzone, het gebied waarin de temperatuur boven de 25°C uitstijgt, raakt de bodem niet. Als de achtergrondtemperatuur boven de 22°C ligt, geldt dit niet, omdat er dan wordt aangenomen dat de temperatuurgevoelige vissen naar kouder water zijn gemigreerd.

3.1.2 Waterkwaliteit

Europese Kaderrichtlijn Water

Het Europese Parlement en de Raad van de Europese Unie hebben op 23 oktober 2000 de EU-Kaderrichtlijn Water (KRW) [4] vastgesteld. Het doel van de KRW is om aquatische ecosystemen te beschermen en duurzaam gebruik van water te bevorderen. Verder beoogt de KRW grondwaterverontreiniging te verminderen en de gevolgen van zowel perioden van overstroming als perioden van droogte te verminderen. Een belangrijk uitgangspunt van de KRW is het 'stand still beginsel'. Dat wil zeggen dat na het jaar 2000 geen achteruitgang van de chemische en ecologische toestand van het water mag plaatsvinden.

De KRW schrijft voor dat al het oppervlaktewater uiterlijk in 2027 in een goede chemische en ecologische toestand moet verkeren. Het watersysteem is hiervoor opgedeeld in 'waterlichamen'. Dit zijn hydrologische eenheden met een bepaalde minimum omvang. Het begrenzen van waterlichamen, de typologie en de status aanwijzing (natuurlijke, sterk veranderde of kunstmatige wateren) vormen de basis voor de uitwerking van ecologische doelstellingen. Een waterlichaam met een natuurlijke status heeft een hogere doelstelling dan een kunstmatig of sterk veranderd waterlichaam.

Op Europees niveau zijn normen voor de chemische toestand van water voor een groep prioritaire stoffen vastgelegd. Deze normen gelden uniform voor alle oppervlaktewateren en zijn in Nederland verankerd in het Besluit kwaliteitseisen en monitoring water (Bkmw 2009).

Voor de ecologische toestand van het water moeten normen geformuleerd worden voor biologische kwaliteitselementen, hydromorfologische kenmerken, biologie-ondersteunende fysisch-chemische parameters en voor overige specifieke verontreinigende stoffen. Hiervoor zijn door de lidstaten van de EU zelf normen en doelstellingen opgesteld. De normen voor de overige chemische stoffen gelden voor alle wateren. Deze normen zijn vastgelegd in de Ministeriële regeling monitoring KRW (2010). De overige doelstellingen zijn per waterlichaam afgeleid op basis van landelijke referenties en maatlatten.

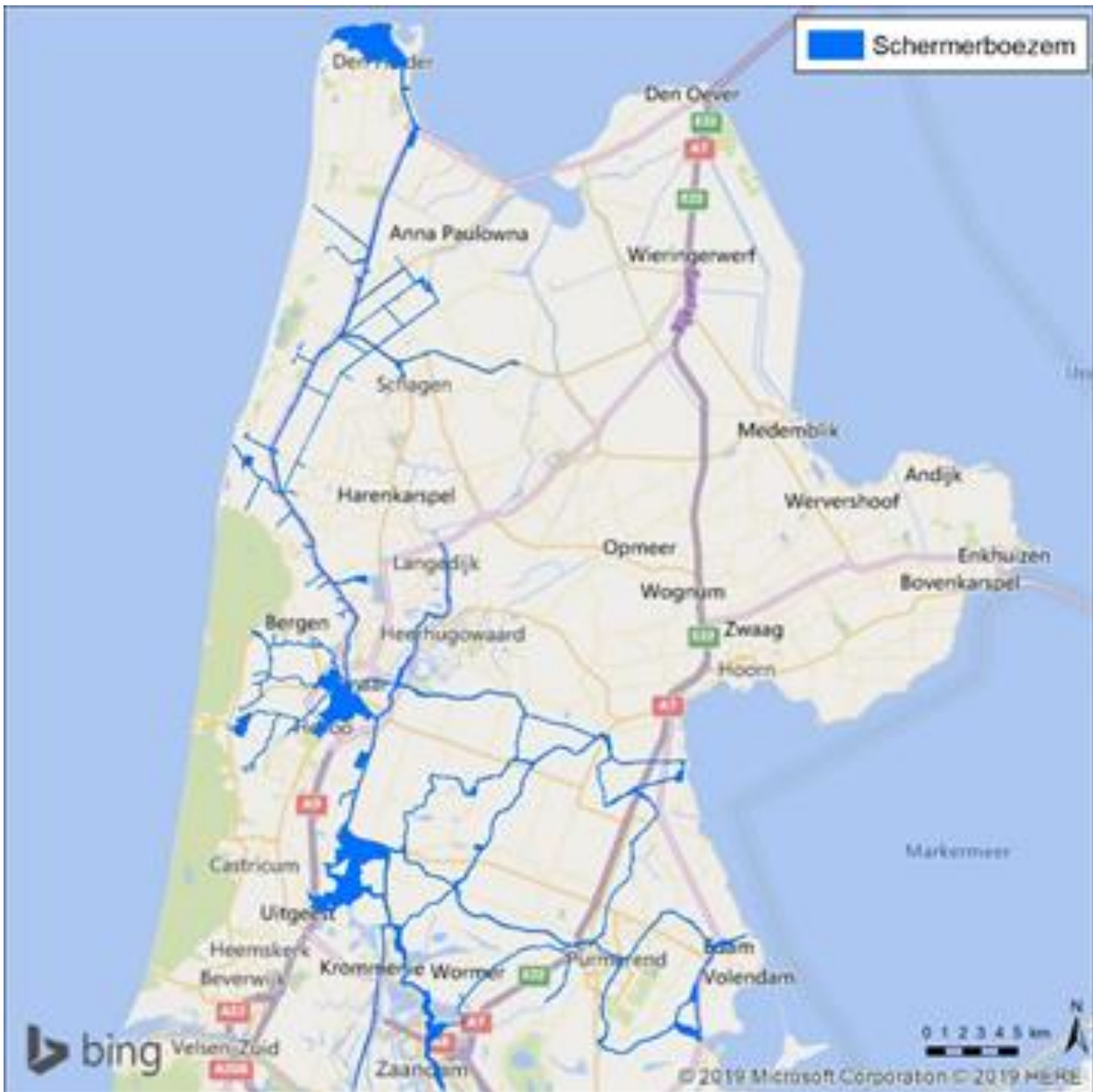
Een drietal oppervlaktewaterlichamen is gelegen binnen het plangebied of wordt potentieel beïnvloed door de voorgenomen activiteiten:

- Waterdelen Schermerboezem-Noord: uit het Noordhollandsch Kanaal, dat onderdeel uitmaakt van dit waterlichaam, wordt koelwater voor de HFR en voor de PALLAS-reactor onttrokken.
- Waterdelen duingebied Noord NHH7: duinwateren binnen het plangebied en in de omgeving daarvan kunnen, afhankelijk van de uitvoeringswijze, potentieel beïnvloed worden door grondwateronttrekkingen of lozingen tijdens de bouwfase.

- Hollandse kust: het opgewarmde koelwater van zowel de HFR als de PALLAS-reactor wordt op dit waterlichaam geloosd.

Waterlichaam Waterdelen Schermerboezem-Noord

Het waterlichaam Schermerboezem-Noord loopt van het Markermeer (Schardam) naar Den Helder en kenmerkt zich als een stelsel van vaarten en kanalen, met een belangrijke scheepvaart- en boezemfunctie. Het waterlichaam wordt gevoed vanuit het Markermeer, aangevuld met regenwater en water uit de polders. Het wordt gekarakteriseerd als ‘grote diepe kanalen met scheepvaart’ (type M7b) met een ‘kunstmatige’ status.



Figuur 2 Noordhollandsch Kanaal en gerelateerde wateren binnen waterlichaam Schermerboezem

Het Noordhollandsch Kanaal maakt onderdeel uit van dit waterlichaam. Uit dit kanaal wordt in de huidige situatie koelwater onttrokken ten behoeve van de HFR. Ook het koelwater voor de PALLAS-reactor zal uit dit kanaal worden onttrokken. Een retourstroom vindt niet plaats op het Noordhollandsch Kanaal. Er is wel ruimte vrijgelaten voor een eventueel visretoursysteem.²

² Deze retourstroom dient om vissen die met het koelwater zijn ingezogen terug naar het kanaal te voeren. Mocht dit worden ingezet, dan zal dit puur bestaan uit kanaalwater, waaraan geen stoffen of warmte zijn toegevoegd. Chlorering van het aan het Noordhollandsch Kanaal onttrokken water zal plaatsvinden in het filterstation, ná het visretoursysteem.

Effecten op de waterkwaliteit in het Noordhollandsch Kanaal en de rest van het waterlichaam zijn niet te verwachten. Dit waterlichaam wordt daarom verder niet beschouwd.

Waterlichaam Waterdelen duingebied Noord NHN

Dit waterlichaam in de duinen tussen Petten en Den Helder bestaat uit geïsoleerde duinwateren die deels van natuurlijke oorsprong zijn en deels zijn gegraven of vergraven. Het betreft wateren binnen het beschermde Natura 2000-gebied Zwanenwater & Pettemerduinen.

Deze worden gevoed met regenwater en (jong) grondwater; in droge perioden vallen sommige duinwateren droog. Het waterlichaam wordt gekarakteriseerd als 'ondiepe (matig grote) gebufferde plassen' (type M14) met een 'sterk veranderde' status.

Voor de bouw van de PALLAS-reactor vindt geen bemaling plaats en treedt geen verlaging van de stijghoogte van het grondwater op³. Ook voor de aanleg van een deel van de koelwaterleiding in een open sleuf, alleen tussen het filtergebouw en het uittredepunt van de koelwaterleidingen 300 m van het filtergebouw, wordt ervan uitgegaan dat geen spanningsbemaling noodzakelijk is. In beide gevallen is mogelijk alleen een kleine open bemaling nodig om neerslag en geringe hoeveelheden lekkagewater af te voeren (zie Achtergrondrapportage Grondwater, paragraaf 5.1). Naast het minimaliseren van de hoeveelheid te lozen water wordt hiervoor, afhankelijk van de hoeveelheid en de kwaliteit van het water, een passende oplossing gezocht. Daarbij valt te denken aan het infiltreren van schoon water, lozing op zee door middel van een flexibele leiding of afvoeren per as. Dit is in alle varianten oplosbaar tijdens de uitvoering. Lozing op duinwateren is hierdoor niet nodig.

In de aanlegfase worden voor de afvoer van hemelwater vanaf de LDA (lay-down area) enkele infiltratiegreppels aangelegd. Hemelwater vanaf de hier aanwezige rijweg, bouwketen, opslagterrein (voorzien van halfverharding) en parkeerplaats wordt naar deze greppels afgevoerd en kan hier in de bodem infiltreren. De greppels zijn gedimensioneerd op een maatgevende bui met een herhalingsstijd van 25 jaar (T=25). In extreme neerslagsituaties kan overtollig water overstorten naar de vijver ten zuidwesten van de LDA. Op deze vijver, die onderdeel uitmaakt van het waterlichaam Waterdelen duingebied Noord NHN, wordt ook in de huidige situatie al overtollig hemelwater van het terrein afgevoerd. De aard en intensiteit van het gebruik van de LDA leidt niet tot specifieke risico's op verontreiniging van hemelwater. Er worden op de LDA ook geen chemische onkruidbestrijdingsmiddelen toegepast. Daarom worden geen negatieve effecten van de mogelijke incidentele lozing van hemelwater op de vijver verwacht.

Samenvattend zijn significante effecten op het waterlichaam Waterdelen duingebied Noord NHN niet te verwachten. Dit waterlichaam wordt daarom verder niet beschouwd.

Waterlichaam Hollandse kust

Het opgewarmde koelwater wordt geloosd op het waterlichaam Hollandse kust (zie Figuur 3), dat gedefinieerd is als een strook van 1 zeemijl (1,8 km) breed vanuit de kust. Het waterlichaam wordt gekarakteriseerd als 'polyhalien kustwater' (type K1) met een 'natuurlijke' status.

De doelstellingen voor de Rijkswateren, waaronder het waterlichaam Hollandse kust, zijn vastgelegd in het Beheer- en ontwikkelplan voor de Rijkswateren 2016 – 2021 [1].

De in deze rapportage opgenomen beschrijving van de (potentiële) effecten van de koelwaterlozing op de waterkwaliteit richt zich op het waterlichaam Hollandse kust.

³ Wel wordt grond- en hemelwater uit de volgelopen bouwputten voor het reactorgebouw en de pompput en een open ontgraving bij het filtergebouw afgevoerd. Dit water wordt, na waterkwaliteitsanalyse, door middel van infiltratie in de bodem teruggebracht.

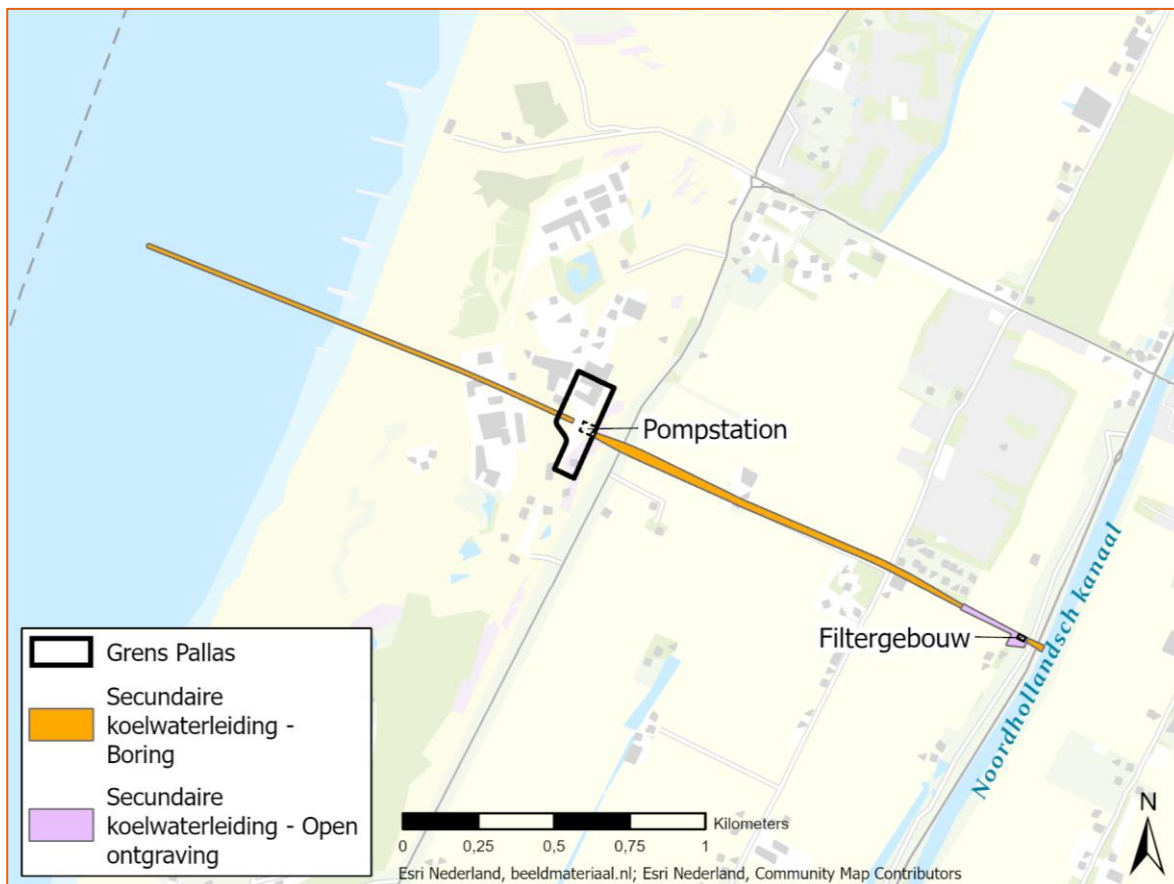


Figuur 3 Waterlichaam Hollandse kust [5]

3.2 Beoordelingskader

Studiegebied

Het studiegebied betreft het oppervlaktewater ter plaatse van het onttrekkingspunt in het Noordhollandsch Kanaal en ter plaatse van het lozingspunt in de Noordzee. De ligging van deze punten is geïllustreerd in Figuur 4. Potentiële effecten worden beoordeeld op het niveau van de betreffende watersystemen (waterlichamen Schermerboezem-Noord en Hollandse kust).



Figuur 4 Tracé van de koelwaterleiding ten behoeve van de PALLAS-reactor. Aan het oostelijke uiteinde bevindt zich het onttrekkingspunt in het Noordhollandsch Kanaal, aan het westelijke uiteinde (ca. 650 m uit de Rijksstrandpalenlijn) het lozingspunt in de Noord

Beoordelingskader

Tabel 2 vat de verschillende beoordelingscriteria per deelaspect van het thema oppervlaktewater samen. Deze worden na de tabel verder toegelicht.

Tabel 2 Beoordelingskader Oppervlaktewater

Deelaspect	Beoordelingscriteria
Koelwateronttrekking	Waterbeschikbaarheid Noordhollandsch Kanaal
	Langetermijnevolgen klimaatverandering
Koelwaterlozing - warmte	Mengzone
	Watertemperatuur
Koelwaterlozing - waterkwaliteit	(Fysisch-) chemische waterkwaliteit
	Biologische waterkwaliteit

Koelwateronttrekking

Beoordelingscriterium 1: Waterbeschikbaarheid Noordhollandsch Kanaal

Aan de hand van dit criterium wordt beoordeeld in hoeverre het Noordhollandsch Kanaal over voldoende water beschikt om de Pallas-reactor van water te voorzien om de isotopenproductie op maximale capaciteit te laten draaien. Daarnaast wordt beoordeeld in hoeverre het Noordhollandsch Kanaal voldoende debiet heeft om in de overgangsfase de koelreactor van Pallas en de HFR van koelwater te voorzien.

Beoordelingscriterium 2: Langetermijnevolgen klimaatverandering

Door klimaatverandering is er in de toekomst meer kans op droogte, met een verminderde zoetwaterbeschikbaarheid en een verhoogde kans op verzilting tot gevolg.

De waterbeschikbaarheid in het Noordhollandsch Kanaal is afhankelijk van die in het Markermeer, dat het kanaal voedt. Het Markermeer wordt via de IJssel gevoed door de Rijn, waardoor de zoetwaterbeschikbaarheid in het Markermeer direct afhankelijk is van de Rijnafvoer. Door klimaatverandering wordt neerslag in het stroomgebied van de Rijn steeds bepalender voor de zoetwaterbeschikbaarheid in het beheergebied van het HHNK. Ten gevolge hiervan zal een droge situatie met hoge temperaturen de vraag naar zoetwater doen toenemen en de waterbeschikbaarheid afnemen.

Aan de hand van dit criterium wordt beoordeeld in hoeverre de koelwateronttrekking nadelige gevolgen heeft voor de omgeving in geval van droogte en in hoeverre er sprake is van een watertekort in droge jaren, rekening houdend met de gevolgen van klimaatverandering.

Koelwaterlozing – warmte

Beoordelingscriterium 1: mengzone

De mengzone (zeewatertemperatuur hoger dan 25 °C) mag de bodem niet raken. Dit geldt voor een omgevings-zeewatertemperatuur tot 22 °C, daarboven wordt verondersteld dat de temperatuurgevoelige vissen weg migreren naar koelere plaatsen.

Beoordelingscriterium 2: watertemperatuur

De watertemperatuur mag niet meer toenemen dan met 2 °C, met een absoluut maximum van 25 °C.

Koelwaterlozing – waterkwaliteit

Beoordelingscriterium 1: (fysisch-) chemische waterkwaliteit

Aan de hand van dit criterium wordt beoordeeld in hoeverre de doelstellingen voor de (fysisch-) chemische waterkwaliteit volgens de KRW worden beïnvloed. Hieronder worden de volgende kwaliteitselementen verstaan:

- De prioritaire stoffen.
- De algemeen fysisch-chemische parameters.
- De overige specifieke verontreinigende stoffen.

De normen en doelstellingen voor deze kwaliteitselementen in het waterlichaam Hollandse kust vormt het uitgangspunt. Beoordeeld wordt of de koelwaterlozing leidt tot overschrijding van de normen en doelstellingen voor de betreffende stoffen en parameters.

Beoordelingscriterium 2: biologische waterkwaliteit

Aan de hand van dit criterium wordt beoordeeld in hoeverre de KRW-doelstellingen voor de relevante biologische kwaliteitselementen worden beïnvloed. In het waterlichaam Hollandse kust betreft dit fytoplankton en macrofauna. Beoordeeld wordt of de koelwaterlozing leidt tot effecten op de doelstellingen voor deze kwaliteitselementen voor het waterlichaam Hollandse kust.

Relevante fasen

De beoordeling van de effecten van koelwateronttrekking en -lozing, zoals beschreven in dit achtergrondrapport, heeft grotendeels betrekking op de overgangsfase en de exploitatiefase. Alleen de fysieke realisatie van de lozingsconstructie (leiding en lozingspunt) in de Noordzee kan al in de bouwfase tot effecten leiden, vanwege een mogelijk (gering) habitatverlies of verstoring.

Beoordelingsschaal

Tabel 3 geeft per (deel)aspect weer hoe de scores bij de effectbeoordeling zijn toegekend.

Tabel 3 Scoretoekenning beoordeling per (deel)aspect

Score	Betekenis	Toelichting
++	Zeer positief effect	<ul style="list-style-type: none"> Waterbeschikbaarheid Noordhollandsch Kanaal: niet van toepassing Langetermijnevolgen klimaatverandering: niet van toepassing Mengzone koelwaterlozing: niet van toepassing Warmtetemperatuur koelwaterlozing: niet van toepassing Chemische waterkwaliteit: niet van toepassing Biologische waterkwaliteit: niet van toepassing
+	Positief effect	<ul style="list-style-type: none"> Waterbeschikbaarheid Noordhollandsch Kanaal: niet van toepassing Langetermijnevolgen klimaatverandering: niet van toepassing De mengzone koelwaterlozing: niet van toepassing Warmtetemperatuur koelwaterlozing: niet van toepassing Chemische waterkwaliteit: niet van toepassing Biologische waterkwaliteit: niet van toepassing
0	Geen effect	<ul style="list-style-type: none"> De koelwateronttrekking heeft geen effect op de waterbeschikbaarheid in het Noordhollandsch Kanaal en bedraagt niet meer dan 15% van de gemiddelde dagafvoer. Rekening houdend met de langetermijnevolgen van klimaatverandering heeft de koelwateronttrekking geen effect op de waterbeschikbaarheid in het Noordhollandsch Kanaal voor overige functies met een (zoet)waterbehoefte in de omgeving. De mengzone, het gebied waarin de temperatuur boven de 25°C uitstijgt, raakt de bodem niet. Dit geldt voor een omgevings-zeewatertemperatuur tot 22 °C. De opwarming blijft beperkt tot 2°C ten opzichte van de achtergrondtemperatuur, tot een maximum van 25°C. Geen significante effecten op de chemische waterkwaliteit. De lozing van stoffen via het koelwater voldoet aan de immissietoets, de lozingsvrachten zijn vergelijkbaar met de huidige situatie. Geen significante effecten op de biologische waterkwaliteit
-	Negatief effect	<ul style="list-style-type: none"> De koelwateronttrekking heeft een negatief effect op de waterbeschikbaarheid in het Noordhollandsch Kanaal en bedraagt meer dan 15% van de gemiddelde dagafvoer. Rekening houdend met de langetermijnevolgen van klimaatverandering heeft de koelwateronttrekking een negatief effect op de waterbeschikbaarheid voor overige functies met een (zoet)waterbehoefte. Om het effect te verminderen moet de onttrekking aangepast worden. De mengzone, het gebied waarin de temperatuur boven de 25°C uitstijgt, raakt de bodem. Dit geldt voor een omgevings-zeewatertemperatuur tot 22 °C. De opwarming overschrijdt de 2°C ten opzichte van de achtergrondtemperatuur, tot een maximum van 25°C. Matig negatieve effecten op de chemische waterkwaliteit. De lozing van stoffen via het koelwater voldoet aan de immissietoets, de lozingsvrachten zijn echter beduidend hoger dan in de huidige situatie. Matig negatieve effecten op biologische waterkwaliteit, leidt niet tot lagere toestandklasse(n) bij KRW-beoordeling
--	Zeer negatief effect	<ul style="list-style-type: none"> De koelwateronttrekking heeft een zeer negatief effect op de waterbeschikbaarheid in het Noordhollandsch Kanaal en bedraagt meer dan 20% van de gemiddelde dagafvoer. Rekening houdend met de langetermijnevolgen van klimaatverandering heeft de koelwateronttrekking een negatief effect op de waterbeschikbaarheid voor overige functies met een (zoet)waterbehoefte. Om het effect te verminderen moet de onttrekking gestopt worden. De mengzone, het gebied waarin de temperatuur boven de 25°C uitstijgt, raakt de bodem. Dit geldt voor een omgevings-zeewatertemperatuur tot 22 °C. De opwarming overschrijdt de 2°C ten opzichte van de achtergrondtemperatuur, en overschrijft het maximum van 25°C. Sterk negatieve effecten op de chemische waterkwaliteit. De lozing van stoffen via het koelwater voldoet niet aan de immissietoets. Sterk negatieve effecten op biologische waterkwaliteit, leidt tot lagere toestandklasse(n) bij KRW-beoordeling

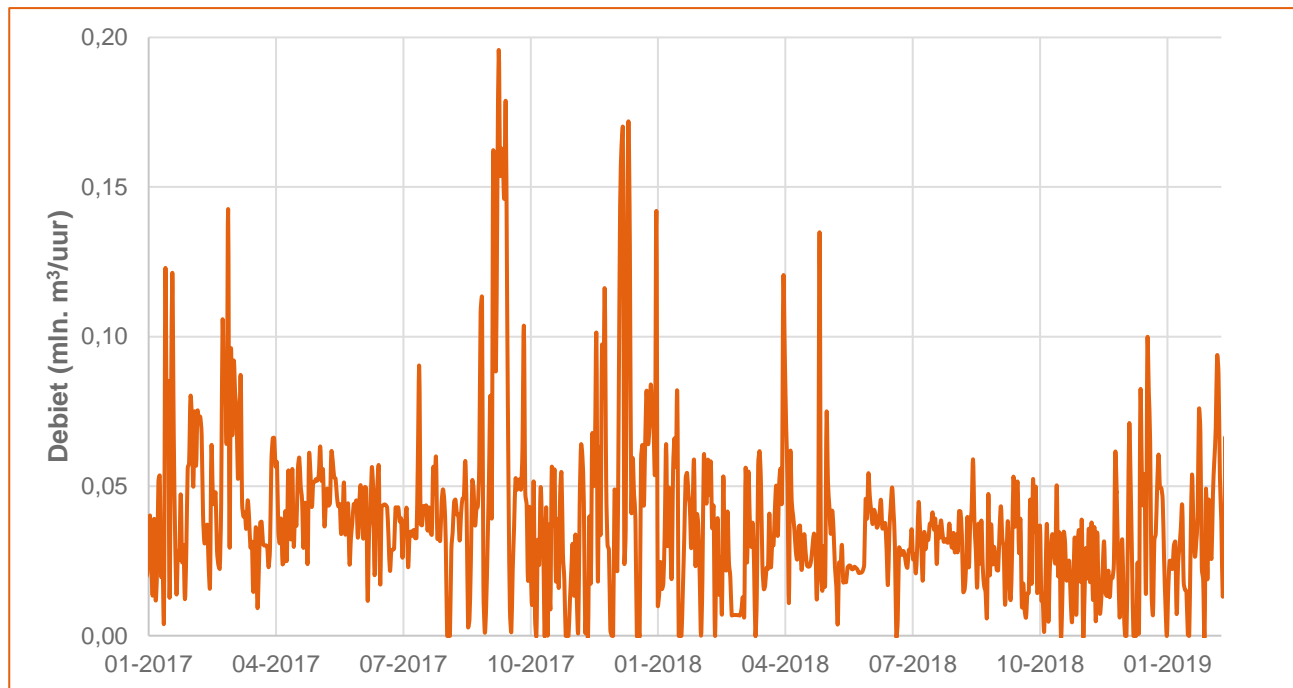
4 HUIDIGE SITUATIE EN AUTONOME ONTWIKKELING

4.1 Huidige situatie

4.1.1 Koelwateronttrekking

Het koelwater van de HFR wordt onttrokken uit het Noordhollandsch Kanaal. Dit kanaal wordt beheerd door het HHNK en maakt onderdeel uit van de Schermerboezem. Een belangrijk deel van de afvoer vanuit de Schermerboezem vindt plaats via Gemaal De Helsdeur bij Den Helder. Dit gemaal is uitgerust met spuikleppen. In geval van laagwater wordt door de spuikleppen te openen water uit het Noordhollandsch Kanaal gespuid naar de buitenhaven in de Den Helder. De gemiddelde afvoer bij Helsdeur bedraagt ongeveer 40.000 m³/uur en is over het jaar relatief constant (Figuur 5). In de winter wordt het spuien ingezet voor de peilhandhaving. In de zomer is er minder water in het gebied beschikbaar en wordt er water ingelaten vanuit het Markermeer. Dit water kan gebruikt worden voor de koeling van de reactor maar wordt ook gebruikt om de boezem door te spoelen, om verzilting tegen te gaan.

De HFR heeft een vergunning voor de onttrekking van 3.300 m³/uur, tot een maximum van 75.000 m³/dag, uit het Noordhollandsch Kanaal. De maximale onttrekking van de HFR bedraagt ca. 14% van het debiet dat gemiddeld door Noordhollandsch Kanaal stroomt. Tot op heden heeft de HFR niet te maken gehad met een watertekort.



Figuur 5 Daggemiddelde afvoer (in m³/uur) van het Noordhollandsch Kanaal ter hoogte van gemaal Helsdeur, Den Helder

4.1.2 Koelwaterlozing – warmte

De huidige HFR heeft een vergunbaar debiet van 3.300 m³/uur (maximaal 75.000 m³/dag) en loost momenteel 3.125 m³/uur op de Noordzee met een temperatuur van 40 °C. Deze uitlaat ligt circa 250 m ten zuidwesten van de nieuwe uitlaat van PALLAS.

4.1.3 Koelwaterlozing – waterkwaliteit

De kwaliteitstoestand van de KRW-waterlichamen is vastgelegd in KRW-factsheets, die jaarlijks worden geactualiseerd. De actuele beoordeling (beoordelingsjaar 2019) van de waterkwaliteit van het waterlichaam Hollandse Kust is samengevat in Tabel 4 [5].

Tabel 4 Huidige beoordeling waterkwaliteit waterlichaam Hollandse kust [6]

Kwaliteitselement	Doel	Oordeel 2019	Toelichting
Ubiquitaire prioritaire stoffen ⁴	Normen Bkwm 2009	Voldoet niet	Normoverschrijding benzo(ghi)peryleen en kwik
Niet-ubiquitaire prioritaire stoffen	Normen Bkwm 2009	Voldoet niet	Normoverschrijding 4-tertiair-octylfenol
Specifieke verontreinigende stoffen	Normen Regeling monitoring KRW	Voldoet niet	Normoverschrijding arseen, dichloorvos, koper en zink
Algemeen fysisch-chemische parameters		Matig	DIN ⁵ (opgelost anorganisch stikstof) matig, temperatuur en zuurstof goed
<ul style="list-style-type: none"> • Winter DIN • Temperatuur (max) • Zuurstofverzadiging 	<ul style="list-style-type: none"> ≤ 0,46 mg N/l ≤ 25 °C ≥ 60% 		
Fytoplankton	EKR ⁶ ≥ 0,60	Goed	
Macrofauna	EKR ≥ 0,60	Goed	

Zoals Tabel 4 laat zien voldoen de meeste van de kwaliteitselementen in de huidige situatie nog niet aan de daarvoor geldende normen en doelstellingen. Uitzonderingen daarop zijn fytoplankton en macrofauna. Voor de overige kwaliteitselementen die behoren tot het criterium (fysisch-chemische) waterkwaliteit verhinderen de concentraties van een aantal stoffen het voldoen aan de normen en doelstellingen. Voor de biologische kwaliteitselementen overige waterflora en vis gelden binnen de KRW-systematiek geen doelstellingen voor kustwateren.

Voor de toetsing van de lozing van stoffen via het koelwater zijn de huidige concentraties van actief chloor (vrij beschikbaar chloor/FO) en de belangrijkste omzettingsproducten (chloroform en bromoform) relevant. Deze zijn weergegeven in Tabel 5.

Tabel 5 Achtergrondconcentraties actief chloor, chloroform en bromoform in waterlichaam Hollandse kust

Stof	Achtergrondconcentratie Noordzee	Bron
Vrij beschikbaar chloor (FO)	0,0 µg/l	N.v.t. (het hoogreactieve FO wordt direct omgezet in andere verbindingen)
Trichloormethaan (chloroform)	0,011 µg/l	Meetgegevens Rijkswaterstaat ⁷
Tribroommethaan (bromoform)	0,011 µg/l	Meetgegevens Rijkswaterstaat ⁷

⁴ 'Alomtegenwoordige' PBT- stoffen: persistente, bioaccumulerende en toxische stoffen (PBT's) die als gevolg van deze eigenschappen langdurig en op het niveau van de Europese Unie wijdverspreid voorkomen in concentraties die een significant risico vormen, hoewel lozingen, emissies en verliezen van de stof al zijn beperkt of beëindigd.

⁵ DIN: Dissolved Inorganic Nitrogen.

⁶ Ecologisch kwaliteitsratio: maat voor de biologische kwaliteit tussen 1 (maximaal) en 0 (minimaal).

⁷ De achtergrondconcentratie van chloroform en bromoform in de Noordzee is afgeleid van meetgegevens van Rijkswaterstaat. Voor chloroform zijn deze gedownload van <https://waterinfo.rws.nl> [14]. Voor beide stoffen is het gemiddelde berekend van de gemeten concentraties op de meetlocatie 'Noordwijk 2 km uit de kust'. Voor chloroform zijn hiervoor de beschikbare meetwaarden over de periode 2015 t/m 2017 gebruikt. Voor bromoform zijn afzonderlijk door RWS verstrekte gegevens over de periode januari 2014 t/m juni 2016 gebruikt. Waarden lager dan de detectielimiet zijn meegerekend als 'halve waarde van de detectielimiet' (< 0,01 µg/l = 0,005 µg/l).

4.2 Autonome ontwikkeling

4.2.1 Koelwateronttrekking

De HFR kan tot 3.300 m³/uur aan het Noordhollandsch Kanaal onttrekken, met een maximum van 75.000 m³/dag. De HFR loopt tegen het einde van zijn economische levensduur, daarom wordt de PALLAS-reactor gebouwd. Gedurende de overgangsfase zal de koelwateronttrekking van de HFR afnemen terwijl de onttrekking van de PALLAS-reactor toeneemt. Er is nog geen einddatum bekend wanneer de ontmanteling zal plaatsvinden.

4.2.2 Koelwaterlozing – warmte

Gedurende de overgangsfase zal de waterlozing op de Noordzee van de HFR afnemen terwijl de waterlozing van de PALLAS-reactor toeneemt.

4.2.3 Koelwaterlozing - waterkwaliteit

In de actuele KRW-factsheet voor het waterlichaam Hollandse kust [5] is een prognose gegeven voor de verwachte waterkwaliteit in het waterlichaam aan het einde van de planperiodes 2016-2021 en 2022-2027. Deze prognose is weergegeven in Tabel 6.

Tabel 6 Prognose waterkwaliteit waterlichaam Hollandse kust in 2021 en 2027 [6]

Kwaliteitselement	Doel	Prognose 2021	Prognose 2027
Ubiquitaire prioritaire stoffen	Normen Bkmw 2009	Voldoet niet	Voldoet niet
Niet-ubiquitaire prioritaire stoffen	Normen Bkmw 2009	Voldoet	Voldoet
Specifieke verontreinigende stoffen	Normen Regeling monitoring KRW	Voldoet	Voldoet
Algemeen fysisch-chemische parameters			
<ul style="list-style-type: none"> • Winter DIN • Temperatuur (max) • Zuurstofverzadiging 	<ul style="list-style-type: none"> ≤ 0,46 mg N/l ≤ 25 °C ≥ 60% 	Matig	Goed
Fytoplankton	EKR ≥ 0,60	Goed	Goed
Macrofauna	EKR ≥ 0,60	Matig	Goed

Rijkswaterstaat verwacht dat in 2027 (bijna) alle kwaliteitselementen aan de daarvoor geldende normen en doelstellingen zullen voldoen, met uitzondering van de ubiquitaire prioritaire stoffen. De verwachting is dat de concentratie van benzo(ghi)peryleen nog altijd niet aan de norm zal voldoen. Dergelijke normoverschrijdende ubiquitaire stoffen zullen nog tientallen jaren terug te vinden zijn in het aquatische milieu in concentraties die een significant risico vormen, zelfs als er reeds uitvoerige maatregelen zijn getroffen om de emissies te beperken of te beëindigen. Door het persistente karakter van deze stoffen blijven ze nog lang in het milieu aanwezig.

Er zijn geen relevante autonome ontwikkelingen bekend ten aanzien van de concentraties van vrij beschikbaar chloor, chloroform en bromoform.

Voor macrofauna is de verwachting dat de toestand in 2021 als matig wordt beoordeeld, terwijl deze in 2019 als goed is beoordeeld. De prognose voor 2027 is wel 'goed'. In de factsheet is hiervoor geen argumentatie gegeven. Een mogelijke reden is dat de actuele toestand verbeterd is (van matig in 2015 naar goed in 2019), maar de prognose voor 2021 nog niet is bijgesteld. Een andere mogelijkheid is dat verwacht wordt dat de toestand in 2021 als gevolg van natuurlijke jaar-tot-jaar-fluctuaties nog niet stabiel 'goed' is.

5 MILIEUEFFECTEN

5.1 Effectbeschrijving

5.1.1 Koelwateronttrekking

Ten behoeve van de koeling van de PALLAS-reactor gaat er water onttrokken worden uit het Noordhollandsch Kanaal. Het maximale debiet bedraagt 3.300 m³/uur, tot een maximum van 75.000 m³/dag. Dit komt overeen met het maximaal vergunde debiet van de HFR, wat circa 14% bedraagt van het gemiddelde debiet van het Noordhollandsch Kanaal ter plaatse van het toekomstig nucleaire eiland⁸. Tijdens de overgangsfase kunnen beide reactoren gelijktijdig actief zijn, met ieder hun eigen maximale vergunde onttrekking. Hierdoor kan er in de overgangsfase meer water onttrokken worden. Hierbij kan de waterbehoefte oplopen tot maximaal 6.600 m³/uur; het dubbele van de waterbehoefte in de huidige situatie (HFR) en in de exploitatiefase (PALLAS).

Beoordelingscriterium 1: Waterbeschikbaarheid Noordhollandsch Kanaal

Voor de PALLAS-reactor wordt een vergunningsdebiet aangehouden van 3.300 m³/uur en 75.000 m³/dag. Dit komt overeen met de koelwateronttrekking van de HFR. In de afgelopen droge jaren zijn er geen problemen geweest met de beschikbaarheid van water voor de HFR. Er worden dan ook geen problemen verwacht voor de PALLAS-reactor.

In de overgangsfase zijn de PALLAS-reactor en de HFR beide in bedrijf. In deze periode is er sprake van een onttrekking van maximaal 6.600 m³/uur (tot 150.000 m³/dag). Gemiddeld zal deze onttrekking lager zijn. Op basis van de gemeten afvoeren van 2017 en 2018 (relatief droge jaren) beschikt het Noordhollandsch Kanaal gemiddeld genomen over genoeg capaciteit om beide reactoren van koelwater te voorzien.

Wanneer er toch onvoldoende water beschikbaar is om de reactor te koelen, heeft dit geen impact op de veiligheid. De productiecapaciteit kan eenvoudig verlaagd worden op basis van het beschikbare koelwater. Dit heeft wel gevolgen voor de productiecapaciteit en op de beschikbaarheid van isotopen.

Het is mogelijk om het koelwaterverbruik van PALLAS en de HFR in enkele seconden te verlagen naar 330 m³/uur (10% van de maximale onttrekking). Hierna kan het waterverbruik geleidelijk nog verder afgeschaald worden. Met het afschakelen van PALLAS en de HFR is de veiligheid ook tijdens de overgangsfase geborgd.

Beoordelingscriterium 2: Langetermijngevolgen klimaatverandering

De beschikbaarheid van water vanuit het Noordhollandsch Kanaal gaat mogelijk veranderen door klimaatverandering. Dit kan invloed hebben op de hoeveelheid koelwater die beschikbaar is voor PALLAS. Er is een extra zoetwaterbuffer in het IJsselmeer, maar deze is niet standaard beschikbaar en de klimaateffecten zullen dan ook niet altijd voldoende gecompenseerd kunnen worden. Dit betekent echter niet dat er structureel extra water beschikbaar is voor PALLAS, aangezien dit afhangt van de zoetwaterbeschikbaarheid ten tijde van droogte.

Naar aanleiding van de extreme droogte in 2003 is er een verdringingsreeks opgesteld. Deze reeks bepaald de prioritering van de waterverbruikers. De PALLAS-reactor is, net zoals de HFR, ingedeeld in categorie 3. Het gebruik van zoetwater voor het tegengaan van onherstelbare schade aan natuur en het voorkomen van zetting en verzilting (categorie 1) en de drinkwatervoorziening (categorie 2) hebben daardoor voorrang tijdens een periode van watertekort. Het is onbekend hoe vaak dit zal voorkomen, in het verleden is dit nog niet voorgekomen in deze regio.

De indeling in categorie 3 van de verdringingsreeks betekent voor de overgangsfase, waarin de PALLAS-reactor en de HFR beide een zoetwaterbehoefte hebben, niet dat er méér aanspraak op zoetwater kan worden gedaan ten koste van belangen in categorie 4.

⁸ Gebaseerd op daggemiddelden van 2017 en 2018 (respectievelijk ca. 13% en 16% van de gemiddelde dagafvoer)

5.1.2 Koelwaterlozing - warmte

In bijlage B is het memo van de koelwaterlozingsstudie in zijn geheel opgenomen. In de volgende paragrafen worden de conclusies samengevat.

Beoordelingscriterium 1: Mengzone

- Bij kentering stroomt het koelwater recht uit de uitlaat omhoog en verspreidt zich horizontaal langs het wateroppervlak zijwaarts.
- Bij vloed buigt de straal met de vloedstroom mee opzij, waarbij het koelwater zich goed mengt met het omgevingswater.
- Bij kentering bedraagt de temperatuurstijging aan het oppervlak maximaal 14,57 °C (winter), terwijl dat in de zomer maximaal 7,60 °C is, waarmee in het laatste geval de temperatuur aan het oppervlak maximaal 29,60 °C bedraagt.
- Bij vloed liggen de oppervlaktetemperaturen in de winter en de zomer op respectievelijk 1,00 °C (+0,00 °C ten opzichte van de achtergrondtemperatuur) en 22,68 °C (+0,68 °C).
- Ter hoogte van de uitlaat is alleen bij vloed een temperatuurverhoging benedenstrooms van de uitlaat zichtbaar. In de winter is de maximale stijging 4,90 °C, terwijl dat in de zomer 4,78 °C is. Dit is zeer lokaal en reikt niet verder dan 5 m van de uitlaatopening. De gemiddelde stijging over een groter gebied (modeldomein) is echter verwaarloosbaar.
- In geen enkel scenario is er een stijging van de temperatuur aan de bodem zichtbaar.
- Tenslotte zijn de minimale, gemiddelde en maximale waarden over de verticaal gemiddeld om de gemiddelde temperatuurstijging in het gehele modeldomein te bepalen. Deze is in alle gevallen minder dan 0,5 °C, tussen de 0,43 °C (kentering, winter) en 0,09 °C (vloed, zomer).

Algehele conclusie in relatie tot de criteria voor koelwaterlozingen

- Het koelwater van de voorziene PALLAS-reactor voldoet aan de koelwatertemperatuurnormen.
- De mengzone (zeewatertemperatuur hoger dan 25 °C) raakt in geen enkel scenario de bodem.

Beoordelingscriterium 2: Watertemperatuur

- De lokale menging rondom het lozingspunt wordt in het Delft3D model overschat.
- Doordat het totale lozingsdebiet en -temperatuur wel correct zijn, is het model wel goed in staat om te beschrijven hoe de koelwaterlozing zich verspreidt langs de kust.
- De maximale temperatuurstijging ten opzichte van een situatie zonder koelwaterlozingen is marginaal. In de winter is die het grootst, maar met orde 0,20 °C in de overgangsfase en 0,13 °C in de exploitatiefase ver onder de norm. In de zomer zijn die met respectievelijk 0,10 °C en 0,07 °C nog minder.

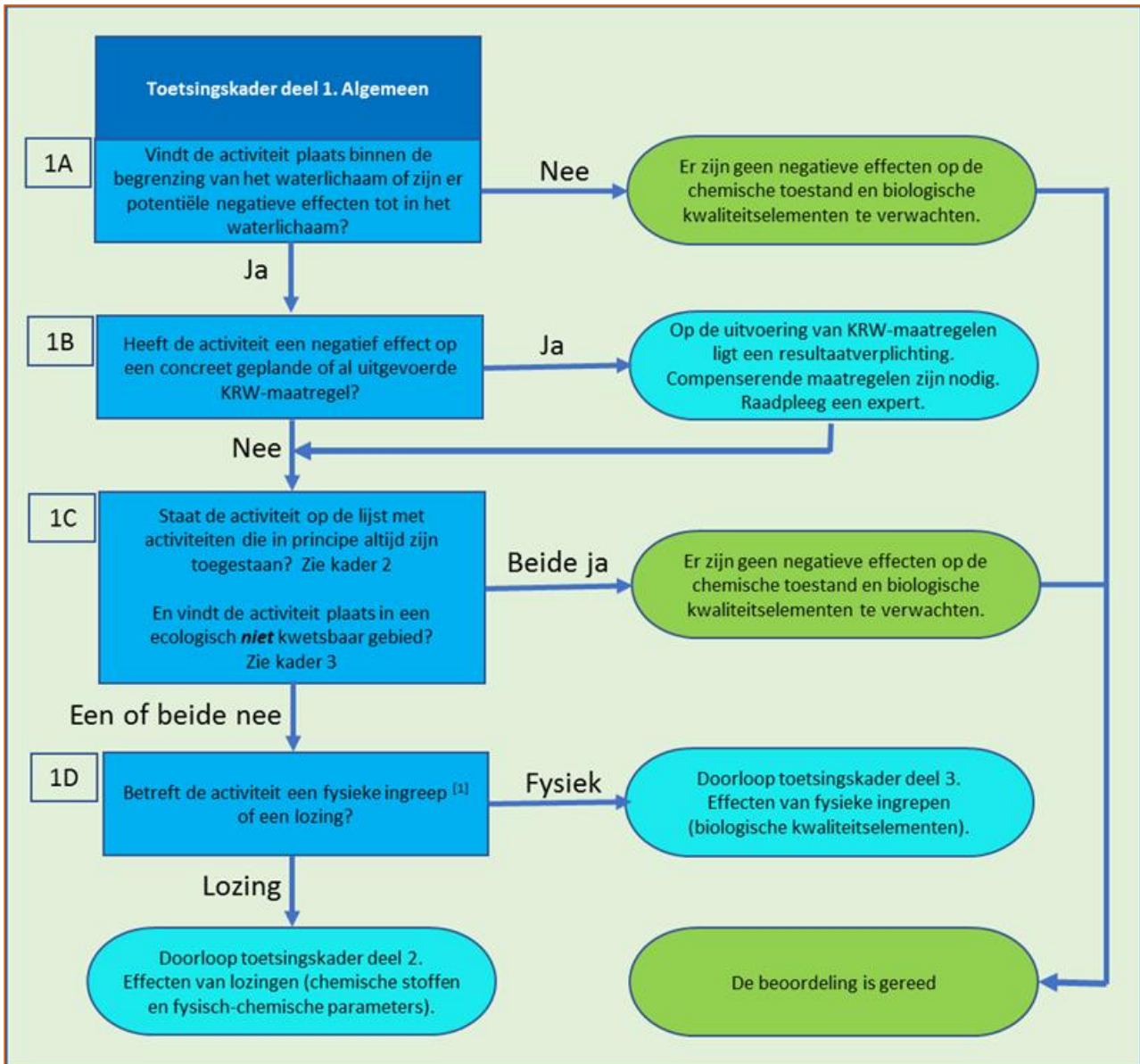
Algehele conclusie in relatie tot de criteria voor koelwaterlozingen

- De watertemperatuuroename blijft onder de norm van 2 °C, daarnaast blijft de temperatuur onder het absoluut maximum van 25 °C. Weliswaar neemt zeer lokaal nabij de uitlaat de watertemperatuur significant toe, maar dit is beperkt tot een relatief klein gebied en bij lage stroomsnelheden rond kentering. Over een groter gebied en langere tijdschalen is de temperatuurstijging minder dan 0,20 °C, ruim minder dan de 2 °C volgens de norm.

5.1.3 Koelwaterlozing - waterkwaliteit

Voor de beoordeling van effecten op de (fysisch-) chemische- en biologische waterkwaliteit wordt aangesloten bij de systematiek van het 'Toetsingskader waterkwaliteit' (bijlage 5 van het Beheer- en ontwikkelplan voor de Rijkswateren 2016-2021; [1]⁹). Dit is het door Rijkswaterstaat gehanteerde kader voor de beoordeling van effecten van lozingen op en fysieke ingrepen in het watersysteem. Het toetsingskader kent een algemeen deel en vervolgens twee specifieke delen, voor effecten van lozingen en van fysieke ingrepen. Afhankelijk van het resultaat van het algemene deel (Figuur 6) moet(en) ook één van beide, of beide specifieke delen worden doorlopen.

⁹ De ten tijde van het opstellen van dit rapport online beschikbare versie van het Toetsingskader waterkwaliteit in bijlage 5 van het Beheer- en ontwikkelplan voor de Rijkswateren 2016-2021 bleek niet meer actueel. De actuele, niet publiek beschikbare versie is ten behoeve van het opstellen van deze rapportage verstrekt via de Helpdesk Water van Rijkswaterstaat.



Figuur 6 Stroomschema deel 1: 'Algemeen' uit het Toetsingskader waterkwaliteit [1] (bijlage 5)

Het doorlopen van het stroomschema in Figuur 6 leidt tot de volgende bevindingen:

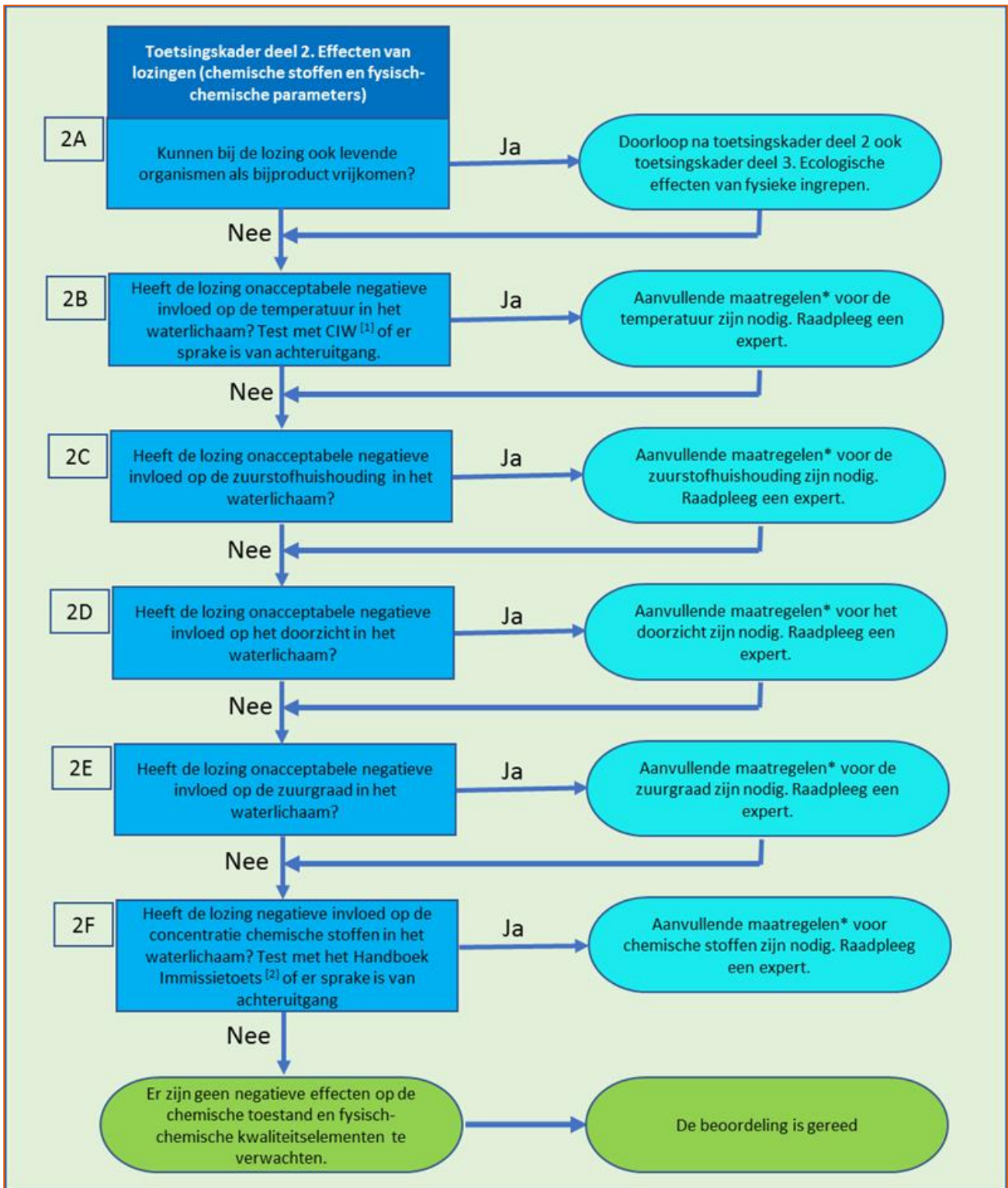
- 1A: De activiteit vindt plaats binnen de begrenzing van het waterlichaam Hollandse kust.
- 1B: De activiteit heeft geen negatief effect op een geplande of uitgevoerde KRW-maatregel.
- 1C: De activiteit staat niet op de lijst met vergunningsvrije activiteiten van ondergeschikt belang en vindt niet plaats in een ecologisch *niet* kwetsbaar gebied (concreet: binnen de vaargeulen).
- 1D: De activiteit betreft zowel een lozing als een fysieke ingreep (aanleg van de lozingsconstructie).

Op grond van het resultaat van stap 1D moeten zowel deel 2 als deel 3 van het toetsingskader worden doorlopen. Deel 2 betreft de beoordeling van de effecten van de lozing op de (fysisch-) chemische waterkwaliteit (beoordelingscriterium 1). Deze effecten kunnen zich voordoen in de overgangsfase en de exploitatiefase. Daarvóór vinden geen koelwaterlozingen vanuit de PALLAS-reactor plaats en derhalve geen te beoordelen effecten door koelwaterlozingen.

Deel 3 van het toetsingskader betreft de beoordeling van de potentiële effecten van (de aanleg van) de lozingsconstructie op de biologische waterkwaliteit (beoordelingscriterium 2). Dergelijke effecten kunnen al vanaf de bouwfase plaatsvinden, als de lozingsconstructie wordt gerealiseerd.

Beoordelingscriterium 1: (fysisch-) chemische waterkwaliteit

In Figuur 7 is het stroomschema voor het beoordelen van de effecten van lozingen op de (fysisch-) chemische waterkwaliteit weergegeven.



Figuur 7 Stroomschema deel 2: 'Effecten van lozingen' uit het Toetsingskader waterkwaliteit [1] (bijlage 5)

Het doorlopen van het stroomschema in Figuur 7 leidt tot de volgende bevindingen:

- 2A: Bij de lozing komen geen levende organismen vrij (aangroei van bacteriën en schelpdieren in het koelwatersysteem wordt voorkomen door middel van chlorering).

- 2B: De thermische effecten van de lozing worden afzonderlijk beoordeeld middels het beoordelingsaspect 'koelwaterlozing - warmte'.
- 2C: Er worden geen zuurstofbindende stoffen aan het koelwater toegevoegd. De warmtelozing leidt slechts lokaal tot een verhoogde watertemperatuur en een verminderde oplosbaarheid van zuurstof. De effecten op de zuurstofhuishouding zijn minimaal en niet betekenend voor het waterlichaam.
- 2D: De lozing leidt niet tot een verminderd doorzicht als gevolg van lozing van vertroebelende stoffen, opwerveling van sediment (het lozingspunt wordt zodanig geconstrueerd dat de mengzone de bodem niet raakt) of een toename van de ontwikkeling van algen (er worden geen vermestende stoffen geloosd).
- 2E: Er is ook geen sprake van betekenende effecten op de zuurgraad in het waterlichaam.
- 2F: De lozing van stoffen als gevolg van de chlorering van het koelwater kan *in potentie* tot negatieve effecten leiden. De effecten dienen nader te worden onderzocht conform het Handboek Immissietoets [2].

De beoordeling van effecten van de koelwaterlozing op de (fysisch-) chemische waterkwaliteit focust zich dus op de potentiële gevolgen van de chlorering van het koelwater.

De beoordeling wordt gebaseerd op de lozing van vrij beschikbaar chloor en de omzettingsproducten bromoform (onder invloed van geringe achtergrondconcentraties van bromide in het koelwater) en chloroform. Hiervoor is gebruik gemaakt van de emissie-immissietoets [2]. Dit instrument wordt gebruikt voor het beoordelen van de effecten van een specifieke restlozing (na toepassing van best beschikbare technieken) op de waterkwaliteit en de vergunbaarheid van de lozing, conform de systematiek uit het Handboek Immissietoets [2]. De methodiek en de gehanteerde uitgangspunten zijn nader beschreven in bijlage 1. Daar zijn ook de resultaten van de toetsing (output van de toetsmodule) weergegeven.

Resultaten emissie-immissietoets

Voor vrij beschikbaar chloor (FO) wordt niet voldaan aan de emissie-immissietoets [2]. Dit geldt zowel voor de overgangsfase (HFR + PALLAS-reactor) als voor de exploitatiefase (alleen PALLAS-reactor). De berekende concentratietoename op de rand van de mengzone, op basis waarvan het toetsresultaat negatief is, is hoger in de overgangsfase dan in de exploitatiefase. Dit is het gevolg van het uitgangspunt dat beide reactoren gelijktijdig met maximale capaciteit in bedrijf zijn en de lozingsvracht daarom hoger is dan wanneer maar één reactor in bedrijf is. De berekende concentratietoename in de overgangsfase is echter een overschatting, omdat beide lozingen samen in het toetsinstrument als één totaalozing zijn ingevoerd, maar in werkelijkheid op verschillende locaties plaatsvinden en ieder een eigen lozingspluim hebben. Bovendien is de overgangsfase een tijdelijke situatie (ordegrootte enkele maanden), waarin gelijktijdige maximale koeling van beide reactoren naar verwachting niet vaak of lang zal voorkomen.

Bij het negatieve toetsresultaat moet daarnaast bedacht worden dat in beide gevallen gerekend is met een conservatieve daggemiddelde lozingsconcentratie van 0,2 mg/l. Dit is de vergunde concentratie voor de HFR, direct achter de condensor/warmtewisselaar. In de praktijk zal het zeer reactieve vrij beschikbaar chloor in het koelwatersysteem vrijwel direct reageren met andere verbindingen waarmee het in aanraking komt en hierdoor grotendeels uit het te lozen koelwater verdwenen is. De werkelijke gemiddelde lozingsconcentratie is daardoor naar verwachting lager dan de gehanteerde (thans vergunde) waarde. Daarnaast zal het resterende vrij beschikbaar chloor na lozing in zee zeer snel uiteenvallen en niet meer detecteerbaar zijn. De toetsmodule houdt hier geen rekening mee, deze gaat uit van conservatieve (niet reagerende) stoffen. De voor de toetsing relevante concentratieverandering op de rand van de mengzone en de concentratie volledige menging zijn daarom in de praktijk hooguit een fractie van de met het toetsinstrument berekende waarden en zeker kleiner dan de hiervoor geldende criteria (zie bijlage 1). Om die redenen wordt er voor de beoordeling van de lozing van de restfractie van vrij beschikbaar chloor van uit gegaan dat deze voldoet aan de immissietoets.

Voor bromoform en chloroform wordt in alle projectfasen voldaan aan de effluenttoets. Dat wil zeggen dat de concentratie van de stof in het te lozen koelwater lager is dan de waterkwaliteitsnorm. Verdere toetsing is in dat geval niet nodig.

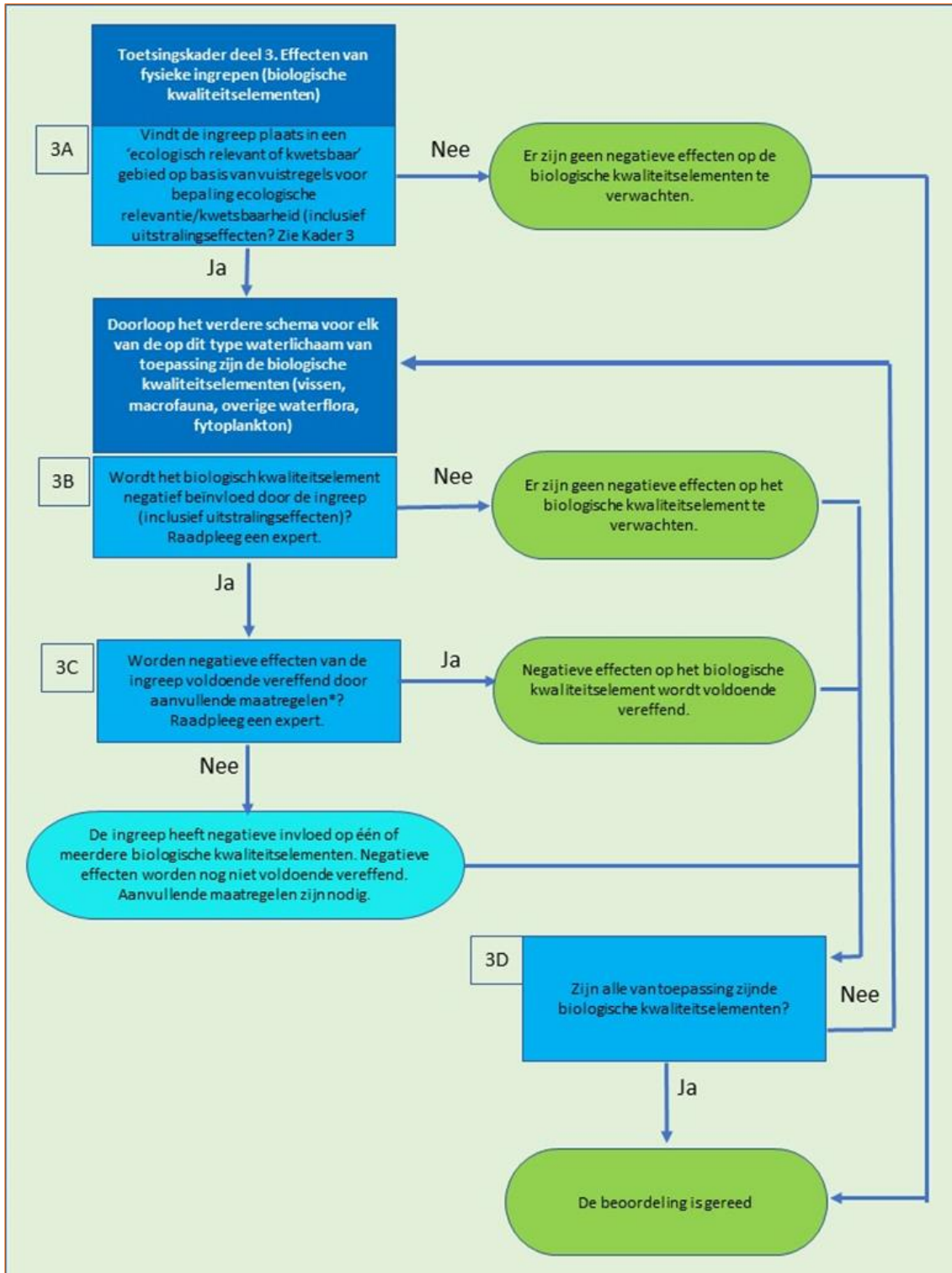
Zowel voor vrij beschikbaar chloor (FO) als voor bromoform geldt dat de gehanteerde normen geen wettelijke status hebben en dus uitsluitend indicatief zijn (zie bijlage 1).

Geconcludeerd wordt dat de lozing van stoffen via het koelwater zowel in de overgangsfase als in de exploitatiefase voldoet aan de immissietoets. Bij het gelijktijdige benutten van de maximale koelcapaciteit van beide reactoren is de lozingsvracht van vrij beschikbaar chloor (FO), bromoform en chloroform echter wel beduidend hoger dan wanneer alleen de HFR of de PALLAS-reactor in bedrijf is.

Daarom worden de effecten op de chemische waterkwaliteit in de overgangsfase negatief beoordeeld. De vrachten voor de HFR en de Pallas-reactor zijn van dezelfde orde grootte. Daarom worden de effecten in de exploitatiefase neutraal beoordeeld.

Beoordelingscriterium 2: biologische waterkwaliteit

In Figuur 8 is het stroomschema voor het beoordelen van de effecten van fysieke ingrepen op de biologische waterkwaliteit weergegeven.



Figuur 8 Stroomschema deel 3: 'Effecten van fysieke ingrepen' uit het Toetsingskader waterkwaliteit [1] (bijlage 5)

Het doorlopen van het stroomschema in Figuur 8 leidt tot de volgende bevindingen:

- 3A: De ingreep vindt plaats buiten de vaargeulen en dus in een ecologisch relevant of kwetsbaar gebied. Het betreft bovendien het Natura 2000-gebied 'Noordzeekustzone' [6].
- De overige stappen dienen te worden doorlopen voor de biologische kwaliteitselementen *fytoplankton* en *macrofauna*. Voor andere biologische kwaliteitselementen gelden geen KRW-doelstellingen voor kustwateren (zie paragraaf 4.1.3). Andere potentiële effecten op flora en fauna ten gevolge van de lozing, waaronder de effecten van onderwatergeluid, worden beoordeeld binnen het achtergrondrapport Natuur en in de Passende Beoordeling [6].
- 3B/3C/3D: De beoordeling van effecten op fytoplankton en macrofauna wordt hierna beschreven.

Groei van fytoplankton (primaire productie) kan in de hele waterkolom plaatsvinden, zolang er voldoende licht en voedingsstoffen beschikbaar zijn. Fysieke ingrepen kunnen vooral relevant zijn als deze tot sterke vertroebeling en daarmee tot een verminderde lichtdoordringing kunnen leiden. Eventuele effecten op het doorzicht in het waterlichaam Hollandse kust door aanleg van de afvoerleiding (middels een gestuurde boring) en de lozingsconstructie treden slechts lokaal en kortdurend op tijdens de aanleg.

Effecten op de primaire productie van fytoplankton zijn hierdoor naar verwachting verwaarloosbaar. Er is dan ook geen aanleiding om negatieve effecten op het fytoplankton te verwachten.

Binnen de groep van macrofauna in open en polyhalien kustwater (KRW-type K1) zijn tweekleppigen (schelpdieren), borstelwormen, stekelhuidigen en kreeftachtigen de belangrijkste soortgroepen [7]. Potentiële effecten op deze soortgroepen kunnen plaatsvinden door oppervlakteverlies door en verstoring bij de aanleg van de lozingsconstructie. Voor de verankering van de koelwateruitlaat wordt over een oppervlakte van ca. 50 m² stortsteen aangebracht. Het zandige karakter van de zeebodem verandert hierdoor over een kleine oppervlakte. De habitat komt daardoor niet meer overeen met het habitatype H1110B 'Permanent overstroomde zandbanken'. De stortsteen die hiervoor in de plaats komt kan overigens wel habitat vormen voor benthische soorten die gebonden zijn aan hard substraat en daarmee een (weliswaar zeer klein) leefgebied vormen voor soorten die nu niet in het gebied voorkomen [6].

De locatie voor de koelwateruitlaat ligt op enkele honderden meters van de laagwaterlijn. In dit relatief ondiepe gebied is de dynamiek als gevolg van branding en intensief zandtransport relatief hoog. Schelpdierbanken liggen over het algemeen wat verder van de kust, waar het milieu iets minder dynamisch is. De kans dat de aanleg van de lozingsconstructie leidt tot bedekking van schelpdierbanken is daarom minimaal. Een afname van 50 m² schelpdierbank (als worst-case scenario) is, vergeleken met de uitgestrektheid van de voorkomens van schelpdierbanken in de Nederlandse kust, bovendien nauwelijks van ecologische betekenis [6].

De totale oppervlakte van het habitatype H1110B binnen het Natura 2000-gebied Noordzeekustzone is 140.000 ha. Een afname van het leefgebied voor borstelwormen, stekelhuidigen en kreeftachtigen als gevolg van oppervlakteverlies of (tijdelijke) verstoring is zeer beperkt (< 0,000004% van het totale oppervlak van het habitatype binnen het Natura 2000-gebied) en heeft geen effect op de aanwezige typische soorten. De locatie en omgeving van de lozingsconstructie hebben geen specifieke functie voor typische soorten van het habitatype, waardoor negatieve effecten zijn uitgesloten [6]. Dit geldt zodoende ook voor het waterlichaam Hollandse kust.

Samenvattend is er géén sprake van significante negatieve effecten op fytoplankton en macrofauna in het waterlichaam Hollandse kust.

5.2 Effectbeoordeling

Tabel 7, Tabel 8 en Tabel 9 geven de effectbeoordelingen voor de bouwfase, overgangsfase en exploitatiefase voor het aspect Oppervlaktewater.

Tabel 7 Effectbeoordeling aspect Oppervlaktewater tijdens de bouwfase

Deelaspect	Beoordelingscriteria	Score
Koelwateronttrekking	Waterbeschikbaarheid Noordhollandsch Kanaal	n.v.t.
	Langetermijnevolgen klimaatverandering	n.v.t.
Koelwaterlozing – warmte	Mengzone	n.v.t.
	Watertemperatuur	n.v.t.
Koelwaterlozing – waterkwaliteit	(Fysisch-) chemische waterkwaliteit	n.v.t.
	Biologische waterkwaliteit	0

In de bouwfase, weergegeven in Tabel 7, is er geen sprake van significant negatieve effecten op fytoplankton en macrofauna in het waterlichaam Hollandse kust. Derhalve kent dit beoordelingscriterium een neutrale score (0). De overige beoordelingscriteria zijn in de bouwfase niet van toepassing en kennen daarom geen effectbeoordeling.

Tabel 8 Effectbeoordeling aspect Oppervlaktewater tijdens de overgangsfase

Deelaspect	Beoordelingscriteria	Score
Koelwateronttrekking	Waterbeschikbaarheid Noordhollandsch Kanaal	-
	Langetermijnevolgen klimaatverandering	n.v.t.
Koelwaterlozing – warmte	Mengzone	0
	Watertemperatuur	0
Koelwaterlozing – waterkwaliteit	(Fysisch-) chemische waterkwaliteit	-
	Biologische waterkwaliteit	0

Ten tijde van de overgangsfase is er sprake van een negatief effect (-) ten aanzien van de waterbeschikbaarheid van het Noordhollandsch Kanaal. Het tegelijk draaien van de PALLAS-reactor en de HFR heeft een tijdelijke toename van onttrekking van (koel)water tot gevolg. Wanneer er onvoldoende water beschikbaar is kunnen beide reactoren zo nodig afschakelen, al heeft dit consequenties voor de isotopenproductie. Langetermijneffecten van klimaatverandering op de zoetwaterbeschikbaarheid in het Noordhollandsch Kanaal zijn beoordeeld voor de exploitatiefase (Tabel 9).

Er worden geen effecten (0) verwacht ten aanzien van de beoordelingscriteria mengzone en watertemperatuur (als onderdeel van criterium koelwaterlozing – warmte). De mengzone raakt in geen enkel scenario de bodem. Het koelwater van de PALLAS-reactor voldoet aan de koelwatertemperatuurnormen. De maximale temperatuurstijging ten opzichte van een situatie zonder koelwaterlozingen is daarnaast marginaal. In de winter is die het grootst, maar met orde 0,20 °C in de overgangsfase.

Er is sprake van een negatief effect (-) ten aanzien van de (fysisch-) chemische waterkwaliteit. De lozing van stoffen via het koelwater in de overgangsfase voldoet aan de immisietoets. Bij het gelijktijdige benutten van de maximale koelcapaciteit van beide reactoren is de lozingsvracht van vrij beschikbaar chloor (FO), bromoform en chloroform echter aanmerkelijk hoger dan wanneer alleen de HFR of de PALLAS-reactor in bedrijf is. Daarnaast is er echter ten aanzien van de biologische waterkwaliteit geen sprake van significante negatieve effecten (0) op fytoplankton en macrofauna in het waterlichaam Hollandse kust in de overgangsfase.

Tabel 9 Effectbeoordeling aspect Oppervlaktewater tijdens de exploitatiefase

Deelaspect	Beoordelingscriteria	Score
Koelwateronttrekking	Waterbeschikbaarheid Noordhollandsch Kanaal	0
	Langetermijnevolgen klimaatverandering	0
Koelwaterlozing – warmte	Mengzone	0
	Watertemperatuur	0
Koelwaterlozing – waterkwaliteit	(Fysisch-) chemische waterkwaliteit	0
	Biologische waterkwaliteit	0

Voor de PALLAS-reactor wordt een vergunningsdebiet aangehouden van 3.300 m³/uur en 75.000 m³/dag, wat overeenkomt met de koelwateronttrekking van de HFR. De waterbeschikbaarheid van het Noordhollandsch Kanaal in de exploitatiefase kent daarom een neutrale effectbeoordeling (0). De beschikbaarheid van water vanuit het Noordhollandsch Kanaal verandert mogelijk door klimaatverandering. Dit kan invloed hebben op de hoeveelheid koelwater die beschikbaar is voor PALLAS. Om voldoende water beschikbaar te houden heeft RWS een flexibel peil ingesteld voor het IJsselmeer. Dit zorgt ervoor dat er in de zomer maximaal 400 miljoen m³ extra zoetwater beschikbaar is. Door deze buffer is het mogelijk om de effecten van klimaatverandering te compenseren. Voorgaande resulteert in een neutrale effectscore (0) voor aanpassingsvermogen klimaatverandering.

Voor het beoordelingscriterium koelwaterlozing – warmte is beoordeeld op de beoordelingscriteria mengzone en watertemperatuur. Ten aanzien van het criterium mengzone geldt dat het koelwater van de voorziene PALLAS-reactor voldoet aan de koelwatertemperatuurnormen. De mengzone (zeewatertemperatuur hoger dan 25 °C) raakt in geen enkel scenario de bodem (0). Ten aanzien van de watertemperatuur geldt dat de watertemperatuuroename onder de norm van 2 °C blijft, daarnaast blijft de temperatuur onder het absoluut maximum van 25 °C. Over een groter gebied en langere tijdschalen is de temperatuurstijging minder dan 0,20 °C. Dit resulteert in een neutrale effectscore (0).

(Fysisch-) chemische waterkwaliteit en biologische waterkwaliteit zijn de beoordelingscriteria van het beoordelingscriterium koelwaterlozing – waterkwaliteit. Beide beoordelingscriteria kennen een neutrale effectscore (0). De lozing van stoffen via het koelwater voldoet aan de immissietoets. De vrachten voor de HFR en de PALLAS-reactor zijn van dezelfde orde grootte. Daarom worden de effecten in de exploitatiefase neutraal beoordeeld. Er zijn geen effecten ten aanzien van de biologische waterkwaliteit aangezien er geen sprake is van significante negatieve effecten op fytoplankton en macrofauna in het waterlichaam Hollandse kust in de exploitatiefase.

6 MITIGERENDE MAATREGELEN

6.1 Koelwateronttrekking

Tijdens de overgangsfase kan er sprake zijn van waterinname door de PALLAS-reactor en de HFR. Er is zorg dat in de periode dat er minder water beschikbaar is in het Noordhollandsch kanaal de extra waterinname tot problemen kan leiden, dit is negatief beoordeeld. Er is een reëel risico dat één of beide reactoren terug moeten in capaciteit of zelfs moeten uitschakelen. Als mitigerende maatregel is de inzet om regulier onderhoud aan de HFR te plannen in de periode waarin water het meest schaars is, dus in de zomermaanden (juli-augustus). Het risico op gedwongen afschakelen wordt zo verkleind. Dit vergt internationale afstemming met andere reactoren, om de isotopenlevering te garanderen.

6.2 Koelwaterlozing - warmte

Gezien de minimale effecten van de koelwaterlozing, zowel in de overgangsfase als de exploitatiefase, zijn er geen mitigerende maatregelen nodig.

6.3 Koelwaterlozing - waterkwaliteit

Uit de neutrale beoordeling van de effecten van de koelwaterlozing op de chemische waterkwaliteit blijkt dat de resultaten voor de PALLAS-reactor vergelijkbaar zijn met de huidige situatie, waarin alleen de HFR in bedrijf is. Voor de exploitatiefase zijn daarom geen mitigerende maatregelen nodig. In de overgangsfase is in potentie wel sprake van (tijdelijke, kortdurende) negatieve effecten, door een hogere lozingsvracht van verontreinigende stoffen via het koelwater. Deze effecten kunnen zoveel mogelijk worden gemitigeerd door de totale lozing zoveel als mogelijk te minimaliseren. Dit kan door de PALLAS-reactor zoveel mogelijk te testen in periodes waarin de koelbehoefte van de HFR relatief laag is (in koudere seizoenen en/of bij lage productie) en door niet langer dan noodzakelijk op maximale capaciteit te testen.

Er zijn geen significante negatieve effecten op de biologische waterkwaliteit te verwachten. Derhalve zijn hiervoor geen mitigerende maatregelen nodig.

7 LEEMTEN IN KENNIS

7.1 Koelwateronttrekking

Het is onduidelijk hoe de waterbeschikbaarheid in het Noordhollandsch Kanaal zich zal ontwikkelen op langere termijn (>20 jaar) en of de hoeveelheid water benodigd voor de productie van isotopen ten allen tijden gegarandeerd kan worden. Vooral de mate van voorkomen van (langdurige) perioden van droogte en het gevolg voor de (zoet)waterbeschikbaarheid zijn in dit verband relevant. Dit levert geen veiligheidsrisico op, maar kan potentieel wel zorgen voor een lagere productiecapaciteit.

Door HHNK, ANVS en Veiligheidsregio NHN is aandacht gevraagd voor klimaatontwikkeling, wat effect heeft op de zoetwatervoorziening in de toekomst. Momenteel staat de zoetwatervoorziening van de HFR op plaats 3 in de waterverdringingsreeks, ná de drinkwatervoorziening en peilhandhaving.

De koelwaterinname van de PALLAS-reactor zal middels een flowmeter real time bij de waterbeheerder (HHNK) worden gevolgd.

7.2 Koelwaterlozing – warmte

Er bestaat onduidelijkheid over de stijging van de watertemperatuur op zee onder invloed van klimaatverandering. De verwachting op de termijn van enkele tientallen jaren is echter niet dat dit invloed heeft op de conclusies van de uitgevoerde koelwaterstudie.

7.3 Koelwaterlozing – waterkwaliteit

De effectbeoordeling is uitgevoerd met berekende lozingsconcentraties van de belangrijkste omzettingproducten van vrij beschikbaar chloor. Deze berekeningen zijn gebaseerd op gangbare vuistregels uit de literatuur, aangevuld met enkele conservatieve (worst case) aannames. Zo is niet exact bekend wat het gemiddelde bromidegehalte in het water uit het Noordhollandsch Kanaal is en in welke verhouding bromoform en chloroform hierbij worden gevormd. De hiervoor in bijlage 1 beschreven aannames per stof zijn naar verwachting beide een overschatting en kunnen in ieder geval niet beide exact kloppen. De berekende lozingsconcentraties (voor PALLAS-reactor én HFR) zijn daardoor een hoge schatting. Omdat met de huidige uitgangspunten wel voldaan wordt aan de immissietoets zal bijstelling (naar bededen) van de berekende lozingsconcentraties echter niet tot een ander beoordelingsresultaat leiden.

8 LITERATUURLIJST

- [1] Rijkswaterstaat; Ministerie van Infrastructuur en Milieu, „Beheer- en ontwikkelplan voor de Rijkswateren 2016-2021,” 2015.
- [2] Ministerie van Infrastructuur en Milieu, „Handboek Immissietoets,” 2016.
- [3] Inspectie Verkeer en Waterstaat , „Koelwater, Handreiking en inspectiekader voor Wvo- en Wwb-vergunningverlening,” 2005.
- [4] Europese Commissie,, „Richtlijn 2000/60/EG van het Europees Parlement en de Raad van 23 oktober 2000 tot vaststelling van een kader voor communautaire maatregelen betreffende het waterbeleid.,” 2000.
- [5] Ministerie van Infrastructuur en Milieu, „Factsheet; Hollandse kust (kustwater),” Rijkswaterstaat, 2020.
- [6] Arcadis, „Passende beoordeling PALLAS-reactor ten behoeve van vergunning Wnb. Kenmerk: D10007918:26. Status: concept.,” 2020.
- [7] STOWA, „Referenties en maatlatten voor natuurlijke watertypen voor de Kaderrichtlijn Water 2021-2027. STOWA-rapport 2018-49.,” 2018.
- [8] Europese Commissie, „Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC). Reference Document on the application of Best Available Techniques to Industrial Cooling Systems.,” 2001.
- [9] RIZA, „Hoe omgaan met actief chloor in koelwater,” RIZA-rapport 97.077, 1997.
- [10] KEMA, „Milieu-effectrapportage RWE-centrale Eemshaven,” Kenmerk 30630205-Consulting 06-0630, 2006.
- [11] RWS Waterdienst, „Brondocument waterlichaam Hollandse Kust. Doelen en maatregelen rijkswateren,” Rijkswaterstaat, 2012.
- [12] Rijkswaterstaat, „KRW-factsheet Hollandse kust in RWS,” 2015.
- [13] RIZA, „Het gebruik van biociden in recirculatiekoelsystemen,” RIZA-rapport 96.036, 1996.
- [14] Rijkswaterstaat, „Waterkwaliteitsgegevens,” 2020. [Online]. Available: <https://waterinfo.rws.nl/>.

BIJLAGE 1 EMISSIE-IMMISSIETOETS

Inleiding

Deze bijlage beschrijft de resultaten van de emissie-immissietoets voor de PALLAS-reactor te Petten. Vanuit het secundaire koelwatersysteem zal gechloreerd koelwater op de Noordzee worden geloosd.

Hieronder wordt eerst kort ingegaan op de belangrijkste uitgangspunten voor de toetsing en de eigenschappen van het ontvangende water. Vervolgens wordt de toets op de chlorering kort toegelicht. De toetsing is op 21 en 28 oktober 2020 uitgevoerd met behulp van de online module 'Emissie-Immissietoets' (www.immissietoets.nl). Dit instrument wordt gebruikt voor het beoordelen van de effecten van een specifieke restlozing (na toepassing van best beschikbare technieken) op de waterkwaliteit en de vergunbaarheid van de lozing, conform de systematiek uit het Handboek immissietoets [2]. Het is toegepast op de belangrijkste stoffen in het lozingswater, waaronder de omzettingsproducten van de chlorering.

De immissietoets voor nieuwe lozingen gaat uit van het 'stand-still' beginsel. Dat wil zeggen dat het effect van de lozing op het ontvangende water verwaarloosbaar moet zijn. De toets bestaat uit meerdere stappen, die achtereenvolgens worden doorlopen:

1. Effluenttoets: beoordeeld of de lozingsconcentraties hoger zijn dan de norm voor oppervlaktewater. Als dat niet het geval is hoeft niet verder te worden getoetst (de lozing kan dan niet tot een normoverschrijding leiden).
2. Triviaaltoets: beoordeeld of de toename van de concentratie van de stof in het oppervlaktewater ten gevolge van de lozing na volledige menging toelaatbaar is (maximaal 1% van de normwaarde).
3. Significantietoets: toetst of de concentratietoename op de rand van de mengzone toelaatbaar is (maximaal 10% van de normwaarde).
4. Normtoets: toetst of de concentratie van de stof in het oppervlaktewater na menging (concentratieverhoging + achtergrondconcentratie) de norm overschrijdt.
5. KRW-toets: beoordeelt of de concentratietoename na volledige menging groter is dan de meetnauwkeurigheid voor de betreffende stof. Zo niet, dan is de lozing toelaatbaar.
6. Plantoets: beoordeelt of verwachte waterkwaliteitsverbeteringen in reeds vastgestelde waterplannen ruimte bieden voor het vergunnen van de lozing¹⁰.

Bij toetsing in het kader van vergunningverlening geldt dat als bij stap 1 of 2 wordt geconcludeerd dat de lozing voldoet aan het toetsingscriterium de lozing toelaatbaar is en niet verder hoeft te worden getoetst. Als dit niet het geval is dan dienen stap 3 en 4 allebei te worden doorlopen. Als het resultaat van beide stappen positief is dan is de lozing vergunbaar. Als het resultaat van stap 3 negatief is dan is de lozing niet vergunbaar en als het resultaat van stap 4 negatief is, moet stap 5 worden doorlopen. Bij een positief oordeel voor stap 5 is de lozing alsnog vergunbaar, bij een negatief oordeel is stap 6 optioneel (deze stap is niet opgenomen in de online toetsmodule).

Uitgangspunten toetsing

Methodiek

Zowel in de bestaande HFR als in de te realiseren PALLAS-reactor wordt het koelwater gechloreerd om aangroei van organismen in het secundaire koelwatersysteem te voorkomen. De toetsing wordt uitgevoerd voor de lozing van de werkzame stof (vrij beschikbaar chloor) en omzettingsproducten daarvan. Er is geen eenduidige methodiek beschikbaar ten aanzien van de toetsing van chlorering in koelwater. Een eerste reden hiervoor is de spraakverwarring in de literatuur, daar waar het gaat om termen als 'vrij chloor', 'actief chloor' enz. De tweede reden is de complexiteit van de optredende chemische reacties. Afhankelijk van de stoffen die in het ingenomen koelwater zitten, zal de hoeveelheid vrij beschikbaar chloor (free oxidant, FO) sterk afnemen door oxidatie, vorming en afbraak van gehalogeneerde stikstofverbindingen en de vorming van microverontreinigingen, waarvan chloroform en bromoform de belangrijkste zijn.

¹⁰ Dit is voor de beschouwde stoffen niet aan de orde. Deze stap wordt daarom verder niet behandeld.

De hoeveelheden schadelijke bijproducten die gevormd worden zijn sterk afhankelijk van het actuele gehalte actief chloor in het koelwater. Of deze vorming uiteindelijk een probleem is voor de lozing hangt af van de toestand van het ontvangende water.

Voor een goede beoordeling zou idealiter online monitoring in de installatie moeten plaatsvinden voor de bepaling het FO-gehalte. Ook het ontvangende water zou nauwkeurig geanalyseerd moeten worden op bijvoorbeeld sporen van broom. In dit geval is een praktische methode voor de berekening van concentraties in het lozingswater uitgevoerd, waarbij een beroep wordt gedaan op vuistregels voor de chemische omzettingen zoals gebruikt in voorbeelduitwerkingen van Rijkswaterstaat. Deze methode levert een worst-case scenario.

Scenario's

Ten behoeve van de effectbeoordeling zijn de volgende scenario's beschouwd:

1. Overgangsfase: HFR in bedrijf en gelijktijdig testen van de PALLAS-reactor.
2. Exploitatiefase: alleen PALLAS-reactor in bedrijf.

Lozingspunten en -debieten

De uitgangspunten ten aanzien van de lozingspunten en de lozingsdebieten zijn weergegeven in Tabel 10. Het bestaande lozingspunt van de HFR bestaat uit een aantal roosters met gaten daarin. Het nieuwe lozingspunt van de PALLAS-reactor heeft een flexibele, langwerpige uitstroomopening. Ten behoeve van de toets is voor beide lozingspunten een fictieve diameter berekend. Voor het scenario waarbij beide reactoren tegelijk in bedrijf zijn (scenario 1: overgangsfase) is ook een diameter voor één fictief lozingspunt berekend. Dit punt is voor de toetsing gesitueerd ter plaatse van het nieuwe lozingspunt voor de PALLAS-reactor. Toetsing van twee verschillende lozingspunten op verschillende locaties is niet mogelijk. Hiermee wordt voor dit uitgangspunt tevens een worst-case situatie gehanteerd.

Tabel 10 Uitgangspunten lozingspunten en -debieten

	HFR	PALLAS-reactor	HFR + PALLAS-reactor
Scenario	Referentiesituatie (niet beoordeeld)	2. Exploitatiefase	1. Overgangsfase (HFR in bedrijf + testen PALLAS-reactor)
Ligging lozingspunt (RD-coördinaten)		X: 105.786 Y: 533.891	Als PALLAS-reactor
Dimensies lozingspunt	Roosters met in totaal 64 gaten Ø 100 mm	'Duckbill valve' met geschatte uitstroomopening van 0,35 m ² ¹¹	
Fictieve diameter lozingspunt	80,0 cm	66,9 cm	104,3 cm
Lozingsdebiet (vergund) ¹²	3.300 m ³ /uur (79.200 m ³ /dag)	Max. 3.300 m ³ /uur (79.200 m ³ /dag)	Max. 6.600 m ³ /uur (158.400 m ³ /dag)

In de toetsmodule zijn beide lozingspunten horizontaal 'in het midden' en verticaal 'in het midden' gesitueerd. De uitstroomopeningen bevinden zich 2 m boven de zeebodem en zijn naar boven gericht, waardoor ook de pluim in eerste instantie omhoog gericht is.

Berekening lozingsconcentraties

Omdat in de overgangsfase de HFR en de PALLAS-reactor gelijktijdig in bedrijf kunnen zijn wordt voor beide reactoren de berekening van de lozingsconcentraties vanuit het secundaire koelwatersysteem beschreven.

¹¹ Gebaseerd op een debiet van 3.300 m³/uur en een hierbij door de fabrikant opgegeven uitstroomsnelheid van 2,61 m/s (PROCO, type ProFlex 710, zware uitvoering).

¹² Worst case aanname voor het maximale dagdebiet: maximaal uurdebiet * 24 uur/dag.

Voor de chlorering van het koelwater voor de HFR wordt natriumhypochloriet, ook wel chloorbleekloog genoemd, gedoseerd. Dit betreft een oplossing met een actief chloorconcentratie van 150 g/l. Voor de toetsing van de lozing van de werkzame stof vrij beschikbaar chloor (FO) vanuit de HFR wordt uitgegaan van de hiervoor vergunde lozingsconcentraties:

- Bij een continue chloordosering van het secundaire koelwater mag de vrij beschikbare chloorconcentratie in het te lozen water achter de condensor/warmtewisselaar niet meer zijn dan 0,2 mg/l.
- Bij een discontinue chloordosering van het secundaire koelwater mag de vrij beschikbare chloorconcentratie in het te lozen water achter de condensor/warmtewisselaar niet meer zijn dan 0,5 mg/l.

Bij discontinue dosering kunnen theoretisch dus tijdelijk piekconcentraties optreden tot 0,5 mg/l FO. Conform de BREF Koeling [8] wordt ook voor deze situatie uitgegaan van een maximale daggemiddelde lozingsconcentratie van 0,2 mg/l FO.

Voor de PALLAS-reactor wordt vrij chloor gedoseerd door middel van een zoutelectrolyse. Deze methode is bij de toetsing vergelijkbaar met dosering van natriumhypochloriet. Vooralsnog wordt uitgegaan van continue dosering, met een maximale concentratie vrij beschikbaar chloor van 0,2 mg/l in het te lozen water.

De vorming van de belangrijkste omzettingproducten, chloroform en bromoform, hangt vooral af van de beschikbaarheid van bromide in het koelwater. In zeewater is van nature veel meer bromide aanwezig dan in zoet water. Bij koeling met zeewater zal dus vooral bromoform worden gevormd, bij koeling met zoet water (uit het Noordhollandsch Kanaal) meer chloroform.

De lozingsconcentraties van chloroform en bromoform zijn berekend op basis van het vergunde koelwaterdebiet en het verbruik van chloorbleekloog. Voor de HFR is uitgegaan van het geregistreerde verbruik van 2015, van 112,95 m³ (bron: NRG). Voor de PALLAS-reactor bedraagt het verwachte verbruik (uitgedrukt in chloorbleekloog met een actief chloorconcentratie van 150 g/l) 154 m³/jaar, uitgaande van een koelwaterdebiet van 3.300 m³/uur, een vrij chloordosering van 1 mg/l en een effectieve bedrijfstijd van 80% per jaar. Het praktijkverbruik kan lager zijn, als gevolg van een geringere koelwaterbehoefte (en dus een lagere dosering) in koudere seizoenen.

De lozingsconcentraties van chloroform en bromoform zijn als volgt berekend:

- Het gedoseerde chloorbleekloog bevat 150 gram actief chloor (FO) per liter. De concentratie van actief chloor wordt uitgedrukt in mg Cl₂/l, wat voor de helft uit het actieve Cl⁺ en voor de helft uit het in een zout milieu onschadelijke chloride (Cl⁻) bestaat.
- Bij gebruik van chloorbleekloog wordt circa 1% van de Cl⁺-atomen omgezet in organohalogenen, waarvan chloroform en bromoform de belangrijkste zijn [9].
- In zoute condities (zeewater) is veel bromide beschikbaar en bestaat op molbasis circa 99% van de omzetproducten uit bromoform [10]. In zoete condities (inname van kanaalwater) is veel minder bromide aanwezig. RIZA [9] beschrijft dat bij een bromideconcentratie van 75 µg/l vrijwel evenveel bromoform als chloroform wordt gevormd en dat de bromideconcentratie in Rijnwater gemiddeld circa 180 µg/l bedraagt. In welke verhouding chloroform en bromoform hierbij gevormd worden is niet bekend. Ook de bromideconcentratie in het ingenomen water uit het Noordhollandsch Kanaal is niet bekend. Bij de toetsing is daarom voor beide stoffen een worst-case uitgangspunt gehanteerd. Voor bromoform is ervan uitgegaan dat 80% (hoge schatting) van de omzetproducten uit bromoform bestaat. Voor chloroform is ervan uitgegaan dat 50% van de omzetproducten uit chloroform bestaat. Uiteraard kan dit in de praktijk niet beide voorkomen.

De berekening van de lozingsconcentraties is weergegeven in Tabel 11 (HFR) en Tabel 12 (PALLAS-reactor). Bij de berekening van de lozingsconcentraties is ook rekening gehouden met de achtergrondconcentraties die reeds in het ingenomen water aanwezig zijn. Het gevormde bromoform, dan wel chloroform, is hierbij opgeteld.

De concentraties in het ingenomen kanaalwater zijn gebaseerd op metingen door het HHNK in het Noordhollandsch Kanaal, ter hoogte van Schoorldam¹³.

Tabel 11 Berekening lozingsconcentraties bromoform en chloroform voor de HFR (uitgaande van het geregistreerde verbruik van chloorbleekloog van 2015)

	Bromoform	Chloroform
Dosering chloorbleekloog		112,95 m ³ /jaar 309,5 l/dag
Vorming Cl ⁺ (helpt van 150 g/l Cl ₂ , zie tekst)		23,2 kg/dag
Molmassa Cl ⁺		35,5 g/mol
Hoeveelheid Cl ⁺ dat wordt omgezet in organohalogenen (1%, zie tekst)		232,1 g/dag 6,5 mol/dag
Omzetting naar bromoform/chloroform o.b.v. inname van zoet water (worst-case per stof)	80%	50%
Molmassa bromoform/chloroform	252,7	119,5
Aantal Cl ⁺ -atomen verbruikt per gevormd molecuul	3	3
Vorming bromoform/chloroform	1,74 mol/dag 440,6 g/dag	1,09 mol/dag 130,2 g/dag
Concentratie gevormd bromoform/chloroform o.b.v. koelwaterlozing 79.200 m ³ /dag	5,56 µg/l	1,644 µg/l
Achtergrondconcentratie in ingenomen water ¹³	0,05 µg/l	0,051 µg/l
Totale lozingsconcentratie	5,61 µg/l	1,695 µg/l

Tabel 12 Berekening lozingsconcentraties bromoform en chloroform voor de PALLAS-reactor (uitgaande van het verwachte jaarverbruik van chloorbleekloog, bij een effectieve bedrijfstijd van 80%)

	Bromoform	Chloroform
Dosering chloorbleekloog		154,0 m ³ /jaar 421,9 l/dag
Vorming Cl ⁺ (helpt van 150 g/l Cl ₂ , zie tekst)		31,6 kg/dag
Molmassa Cl ⁺		35,5 g/mol
Hoeveelheid Cl ⁺ dat wordt omgezet in organohalogenen (1%, zie tekst)		316,4 g/dag 8,9 mol/dag
Omzetting naar bromoform/chloroform o.b.v. inname van zoet water (worst-case per stof)	80%	50%
Molmassa bromoform/chloroform	252,7	119,5
Aantal Cl ⁺ -atomen verbruikt per gevormd molecuul	3	3
Vorming bromoform/chloroform	2,38 mol/dag 600,7 g/dag	1,49 mol/dag 177,5 g/dag
Concentratie gevormd bromoform/chloroform o.b.v. koelwaterlozing 79.200 m ³ /dag	7,58 µg/l	2,242 µg/l
Achtergrondconcentratie in ingenomen water ¹³	0,05 µg/l	0,051 µg/l
Totale lozingsconcentratie	7,63 µg/l	2,293 µg/l

¹³ Gemiddelde van meetresultaten 2013 t/m 2015, afkomstig van het Waterkwaliteitsportaal (recentere gegevens zijn niet beschikbaar). Op één meting van chloroform in 2014 na waren alle maandelijkse meetwaarden lager dan de detectielimiet. Deze waarden zijn meegerekend als 'halve waarde van de detectielimiet' (< 0,1 µg/l = 0,05 µg/l).

Tabel 13 toont de berekening van de gemiddelde lozingsconcentraties in de overgangsfase, wanneer de maximale koelcapaciteit voor beide reactoren wordt ingezet.

Tabel 13 Berekening gemiddelde lozingsconcentraties bromoform en chloroform tijdens de overgangsfase (op basis van de in Tabel 11 en Tabel 12 berekende concentraties van gevormd bromoform en chloroform)

	Bromoform	Chloroform
Concentratie gevormd bromoform/chloroform o.b.v. koelwaterlozing HFR 79.200 m ³ /dag	5,56 µg/l	1,644 µg/l
Concentratie gevormd bromoform/chloroform o.b.v. koelwaterlozing PALLAS-reactor 79.200 m ³ /dag	7,58 µg/l	2,242 µg/l
Gemiddelde concentratie gevormd bromoform/chloroform in overgangsfase o.b.v. maximale koelwaterlozing 158.400 m ³ /dag	6,57 µg/l	1,943 µg/l
Achtergrondconcentratie in ingenomen water ¹³	0,05 µg/l	0,051 µg/l
Totale lozingsconcentratie	6,62 µg/l	1,994 µg/l

Kenmerken ontvangend watersysteem

Het gebruikte koelwater wordt geloosd op de Noordzee, in het waterlichaam Hollandse Kust (NL95_3A). Voor de toetsing is een aantal kenmerken van het ontvangende oppervlaktewater ingevoerd. Deze zijn samengevat in Tabel 14.

Tabel 14 Gehanteerde kenmerken ontvangend watersysteem

Kenmerk	Waarde	Herkomst
Type ontvangend water	Aan de kust van de open zee	Default o.b.v. waterlichaam
Achtergrondconcentraties	Zie paragraaf 4.1.3	Zie paragraaf 4.1.3
Debiet (netto)	60 m ³ /s	Schatting Rijkswaterstaat voor het betreffende segment (3677)
Spronglaag	Niet van toepassing	
Saliniteit (bij bodem en oppervlak)	30 PSU	Gemiddelde waarde zeewater
Watertemperatuur (bij bodem en oppervlak)	12 °C	Gemiddelde waarde zeewater

Normen

De waterkwaliteitsnormen voor de te toetsen stoffen zijn weergegeven in Tabel 15. De normen voor FO en bromoform hebben geen formele wettelijke status. Voor deze stoffen kan daarom alleen indicatief worden getoetst.

Tabel 15 Waterkwaliteitsnormen

Stof	Normwaarde	Type/status norm
Vrij beschikbaar chloor (FO)	0,3 µg/l	indicatieve MTR ¹⁴
Tribroommethaan (bromoform)	11,3 µg/l	indicatieve MTR zoete wateren ¹⁵
Trichloormethaan (chloroform)	2,5 µg/l	MKN jaargemiddeld zoute wateren

¹⁴ Bron: [13]

¹⁵ Voor bromoform in zoute wateren is geen norm beschikbaar, daarom is ter indicatie de norm voor zoete wateren gebruikt. Hoewel bromoform in zeewater van nature wordt geproduceerd, zijn ook hier toxische effecten mogelijk.

Toetsresultaten

De resultaten van de toetsing voor vrij beschikbaar chloor (FO), bromoform en chloroform zijn weergegeven in de navolgende tabellen en figuren. Daarbij wordt opgemerkt dat het toetsinstrument geen verdere stappen toetst zodra het eindoordeel vaststaat. Bijvoorbeeld: omdat het resultaat van de significantietoets in Tabel 16 negatief is, is een positief eindoordeel niet meer mogelijk. De toetsing stopt dan.

Tabel 16 Resultaten emissie-immissietoets vrij beschikbaar chloor (FO) (het voor de einduitslag bepalende resultaat is groen of rood weergegeven)

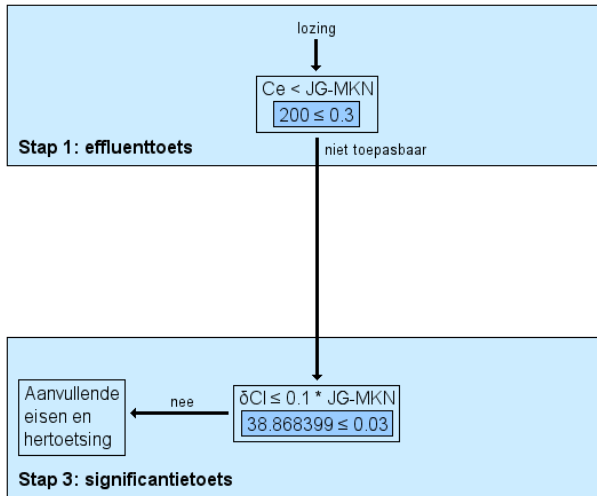
Scenario	Effluenttoets	Triviaaltoets	Significantie-toets	Normtoets	KRW-toets
2. Overgangsfase	Voldoet niet		Voldoet niet		
3. Exploitatiefase	Voldoet niet		Voldoet niet		

Tabel 17 Resultaten emissie-immissietoets bromoform (het voor de einduitslag bepalende resultaat is groen of rood weergegeven)

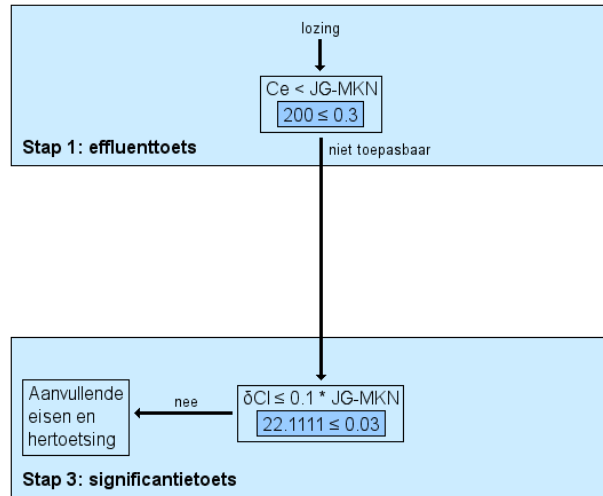
Scenario	Effluenttoets	Triviaaltoets	Significantie-toets	Normtoets	KRW-toets
2. Overgangsfase	Voldoet				
3. Exploitatiefase	Voldoet				

Tabel 18 Resultaten emissie-immissietoets chloroform (het voor de einduitslag bepalende resultaat is groen of rood weergegeven)

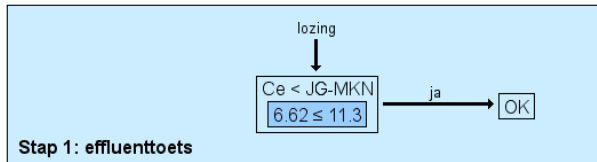
Scenario	Effluenttoets	Triviaaltoets	Significantie-toets	Normtoets	KRW-toets
1. Overgangsfase	Voldoet				
2. Exploitatiefase	Voldoet				



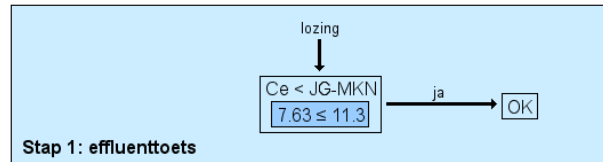
Vrij beschikbaar chloor (FO), scenario 1



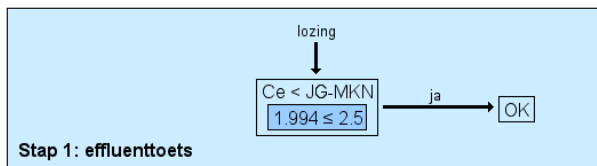
Vrij beschikbaar chloor (FO), scenario 2



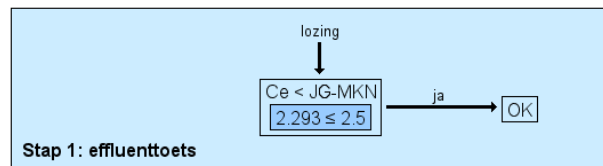
Bromoform, scenario 1



Bromoform, scenario 2



Chloroform, scenario 1



Chloroform, scenario 2

BIJLAGE 2 KOELWATERLOZINGSSTUDIE

ONDERWERP
Koelwaterstudie PALLAS

PROJECTNUMMER
C05011.000642

DATUM
24 februari 2022

ONZE REFERENTIE
D10048215:29

VAN
[REDACTED]

1 Inleiding

De Stichting Voorbereiding PALLAS-reactor, verder PALLAS genoemd, heeft het voornemen om een multifunctionele nucleaire reactor te realiseren die geschikt is voor het produceren van medische isotopen, industriële isotopen en het uitvoeren van nucleair technologisch onderzoek. Deze reactor, verder de PALLAS-reactor genoemd, dient ter vervanging van de huidige Hoge Flux Reactor (HFR) in Petten. De HFR is op dit moment ruim zestig jaar operationeel en loopt tegen het einde van zijn economische levensduur.

Voor de nieuwe reactor wordt een koelwaterleiding gerealiseerd. Water wordt ingenomen op het Noordhollandsch Kanaal en geloosd op de Noordzee. Om te kijken of deze koelwaterlozing aan de vergunningscriteria voldoet, dient er een koelwaterstudie uitgevoerd te worden. De 'NBW-beoordelingssystematiek voor koelwaterlozingen' geeft de volgende twee criteria voor lozingen op de Noordzee (bron: Inspectie Verkeer en Waterstaat, Koelwater; Handreiking en inspectiekader voor Wvo- en Wwh-vergunningverlening, 2005):

- De mengzone (zeewatertemperatuur hoger dan 25 °C) mag de bodem niet raken. Dit geldt voor een omgevingszeewatertemperatuur tot 22 °C, daar boven wordt verondersteld dat de temperatuurgevoelige vissen weg migreren naar koelere plaatsen; en
- De watertemperatuur mag niet meer toenemen dan met 2 °C, met een absoluut maximum van 25 °C.

Omdat de ruimtelijke en temporele schalen waarnaar gekeken dient te worden (enerzijds de lokale menging rondom de uitlaat en anderzijds de opwarming over langere tijd langs de Nederlandse kust), is in deze studie gebruik gemaakt van twee numerieke modellen:

- FLOW-3D
 - lost de volledige 3D Navier-Stokes vergelijkingen op
 - niet-hydrostatisch
 - geschikt voor tijdsafhankelijke (vaak ook quasi-stationaire) stroming op kleinere ruimtelijke en temporele schalen
- Delft3D
 - lost de 2D of 3D ondiep water vergelijkingen op
 - hydrostatisch
 - geschikt voor de tijdsafhankelijke stroming op grotere ruimtelijke en temporele schalen

Omdat in FLOW-3D gebruik wordt gemaakt van hele kleine rekencellen in en nabij de uitstroomopening om enerzijds de geometrie in detail te kunnen schematiseren en anderzijds het mengen van het koelwater met zijn omgeving nauwkeurig te kunnen modelleren, zou het modelleren van grotere ruimtelijke schalen (kilometers) en temporele schalen (doodtij-springtij cyclus) leiden tot onacceptabele rekentijden.

Anderzijds is Delft3D niet geschikt om de lokale menging te modelleren. Ten eerste omdat het gebruik maakt van een afgeleide set vergelijkingen, namelijk de ondiep-water vergelijkingen. Twee belangrijke aannames die bij deze vereenvoudiging worden toegepast, zijn dat de horizontale ruimteschalen veel groter zijn dan de verticale, en dat verticale snelheden klein zijn ten opzichte van de horizontale snelheden. Beide aannames zijn in en rondom de koelwaterstraal niet het geval. Ten tweede kan met dit model de complexe geometrie van de koelwateruitlaat niet in detail worden geschematiseerd, waardoor de initiële verspreiding van het koelwater niet nauwkeurig kan worden gesimuleerd.

In dit memo worden de aanpak en de resultaten van deze modelstudie beschreven. De aanpak van de studie bestaat uit de volgende vier stappen:

1. Het bestaande, grootschalige Delft3D-model van de Nederlandse kust (Kuststrook) wordt gevalideerd om te kijken of het in staat is om de temperatuur in de Noordzee correct te modelleren;
2. Dit model wordt ook gebruikt om de omgevingscondities af te leiden ter plaatse van de koelwater-uitlaat (stroomsnelheden, saliniteit). Omdat de resolutie van het oorspronkelijke model relatief grof is, is er een lokale verfijning toegepast rondom de uitlaat;
3. Middels een CFD-studie (Computational Fluid Dynamics) met FLOW-3D wordt de lokale menging van de koelwaterlozing nabij de uitlaat geanalyseerd op korte tijdschalen. Dit is gedaan voor vier maatgevende condities:
 - winter kentering
 - zomer kentering
 - winter maximale getijstrooming
 - zomer maximale getijstrooming
4. Met het grootschalige model onder 2 wordt gekeken hoe de koelwaterlozing(en) zich grootschalig en over langere tijdschalen verspreidt. Dit is gedaan voor twee situaties en elk voor twee relevante condities:
 - overgangsfase
 - winter
 - zomer
 - productiefase
 - winter
 - zomer

Er dienen twee fases te worden onderzocht voor het verkrijgen van de vergunning: de overgangsfase en de productiefase. Tijdens de overgangsfase zijn zowel de bestaande reactor HFR als de nieuwe PALLAS-reactor in gebruik, terwijl in de productiefase alleen de nieuwe reactor nog wordt gebruikt.

Door voor de laatste twee stappen te kijken naar de vier meest extreme combinaties van condities, wordt inzicht verkregen in de bovengrens van de effecten die kunnen optreden. Hierbij is gekeken naar een wintersituatie, waarbij de temperatuurverschillen tussen koelwater en omgeving maximaal zijn en dus het oprijvende vermogen het grootst, en een zomersituatie, wanneer de omgevingstemperatuur het warmst is en dus eerder de kritische grens van 25 °C kan worden overschreden, maar tegelijkertijd het temperatuurverschil het kleinst is.

2 Gebruikte gegevens

2.1 Locatie en lozingsgegevens HFR en PALLAS

HFR:

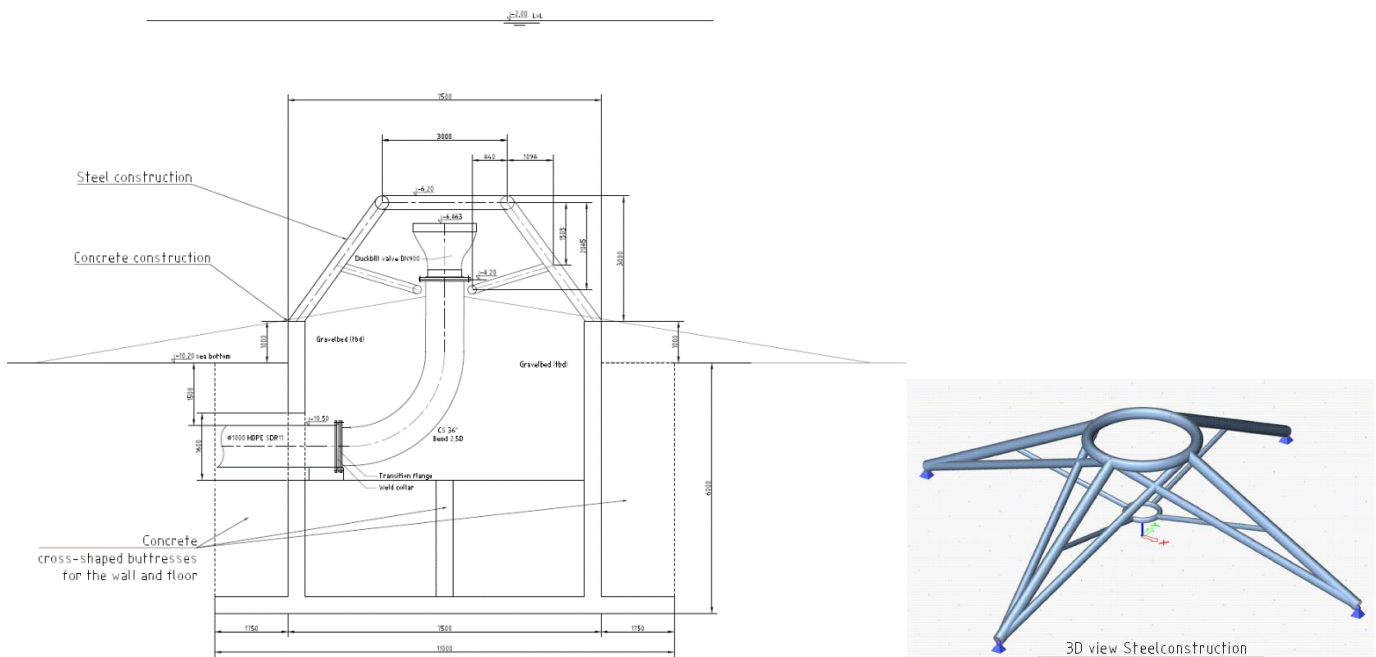
- Outfall locatie: X: 105.589 m, Y: 533.785 m
- Lozingsdebiet: 3.125 m³/uur = 0,868 m³/s
- Lozingstemperatuur: 40 °C
- Lozingssaliniteit: zoet water

PALLAS:

- Outfall locatie: X = 105.786 m, Y = 533.891 m
- Lozingsdebiet: variabel, tussen 3.300 m³/uur = 0,917 m³/s in de zomer en 1.162 m³/uur = 0,323 m³/s in de winter
- Lozingstemperatuur: 35 °C (in overleg met PALLAS aangenomen maximale waarde)
- Lozingssaliniteit: zoet water (inname vanaf het Noordhollandsch Kanaal)

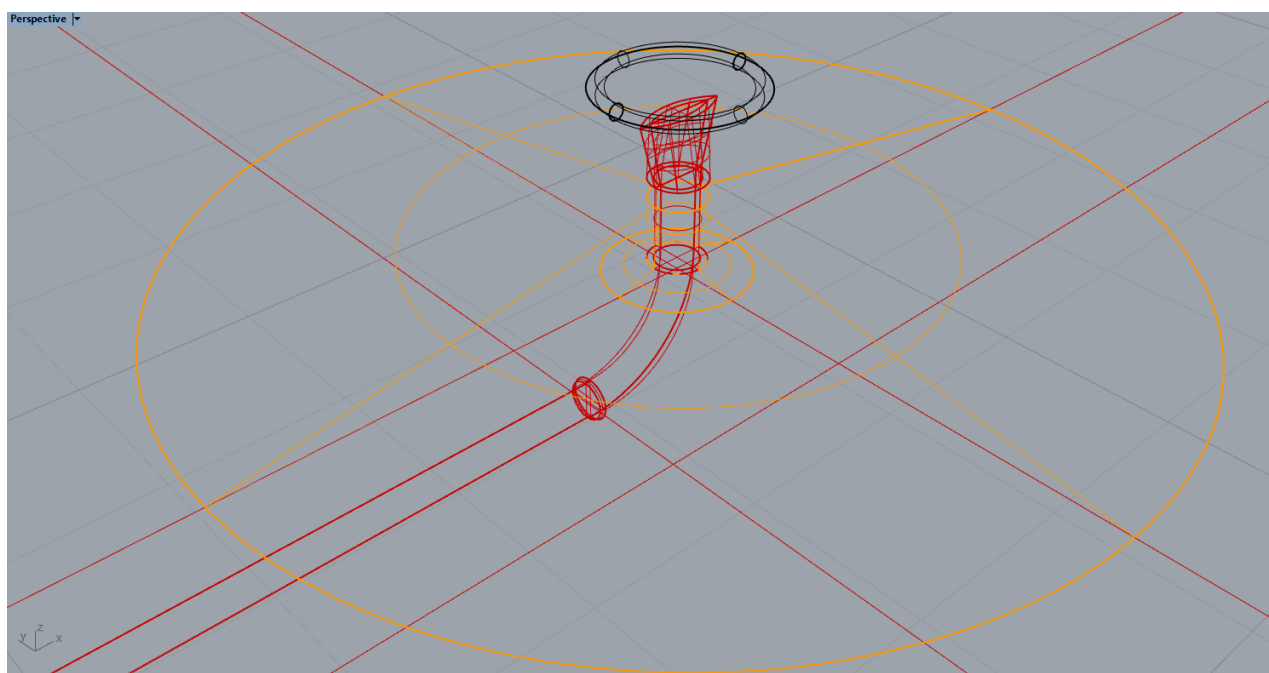
2.2 Ontwerp uitlaat

Het ontwerp van de koelwateruitlaat is weergegeven in figuur 1



Figuur 1 Ontwerptekening van de uitlaat.

Het ontwerp is middels het programma Rhino (<https://www.rhino3d.com/>) omgezet in een 3D CAD-model. In het ontwerp is de wanddikte van het stuk pijp dat boven de zeebodembodem uitstijgt en de dikte van de uitstroom van de duckbill valve overdreven ten behoeve van de roosterschematisatie. Dit zal nader worden toegelicht in paragraaf 3.3. Ook is van de stalen constructie alleen de bovenste ring meegenomen. Het ontwerp is weergegeven in figuur 2.



Figuur 2 3D CAD model van de uitlaat (uitlaat in rood, bodembescherming in oranje, bovenste ring bescherming in zwart).

Vanaf de kust af gezien, bestaat het ontwerp uit:

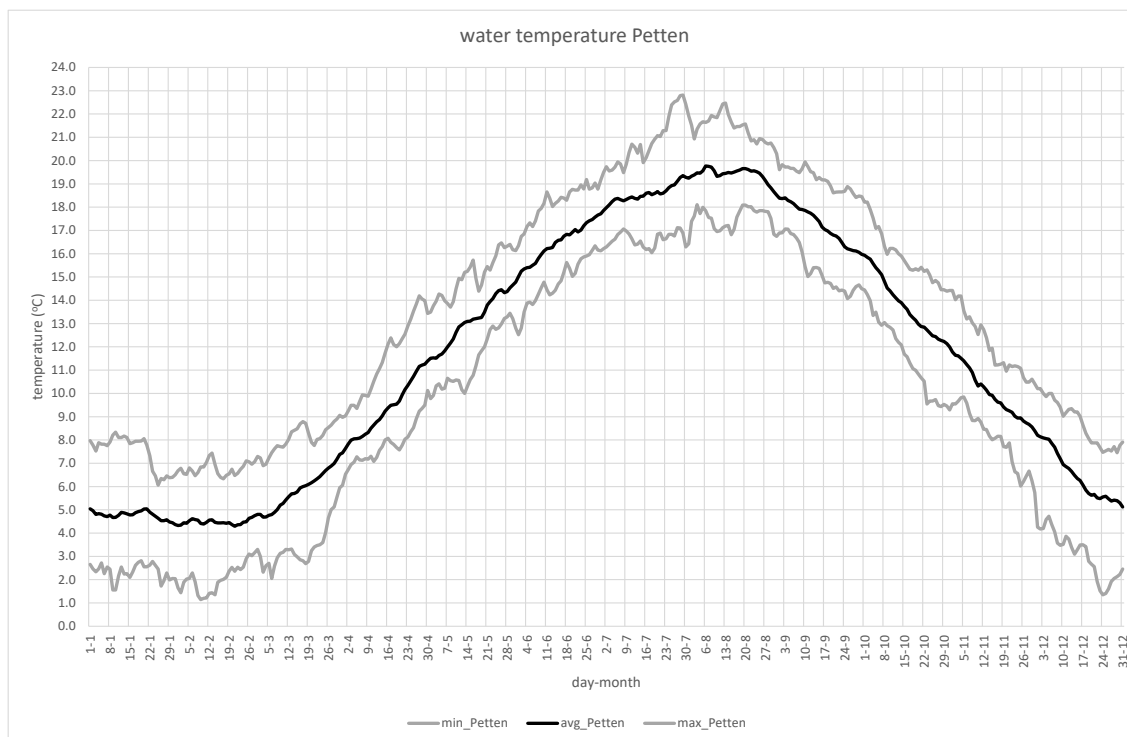
- Aanvoerleiding met een binnendiameter van 818 mm, met de hartlijn op NAP -12,2 m
- Overgangsstuk van binnendiameter 818 mm naar binnendiameter 900 mm, lengte 100 mm
- Bochtstuk met een binnendiameter van 900 mm en een bochtstraal van $2,5 \cdot D = 2250$ mm
- Recht stuk met een binnendiameter van 900 mm van NAP -9,95 m naar NAP -8,20 m
- Duckbill valve, type ProFlex 710 van PROCO om retourstroming de uitlaat in te voorkomen
- De bovenkant van de duckbill valve ligt op NAP -6,863 m
- De uitlaat is beschermd middels een stalen constructie en een bodembescherming.

De bodem ligt op NAP -10,2 m.

2.3 Zeewatertemperatuur

In 2016 is een verkennende studie uitgevoerd naar de koelwaterlozing, waarbij ook een analyse is gemaakt van de zeewatertemperatuur voor de kust van Petten. [Referentie: Memo Water temperature Petten, dd. 1 april 2016.]

De watertemperatuur bij Petten varieert over het jaar en van jaar tot jaar. Deze variatie is afgeleid vanuit de beschikbare metingen bij Den Helder veersteiger (ongeveer 20 km noord) en IJmuiden buitenhaven (ongeveer 35 km zuid van Petten), zie figuur 3. Temperatuur varieert in de winter tussen de 1 en 7 °C (gemiddeld 4,5 °C) en in de zomer tussen de 17 en 23 °C (gemiddeld 20 °C).



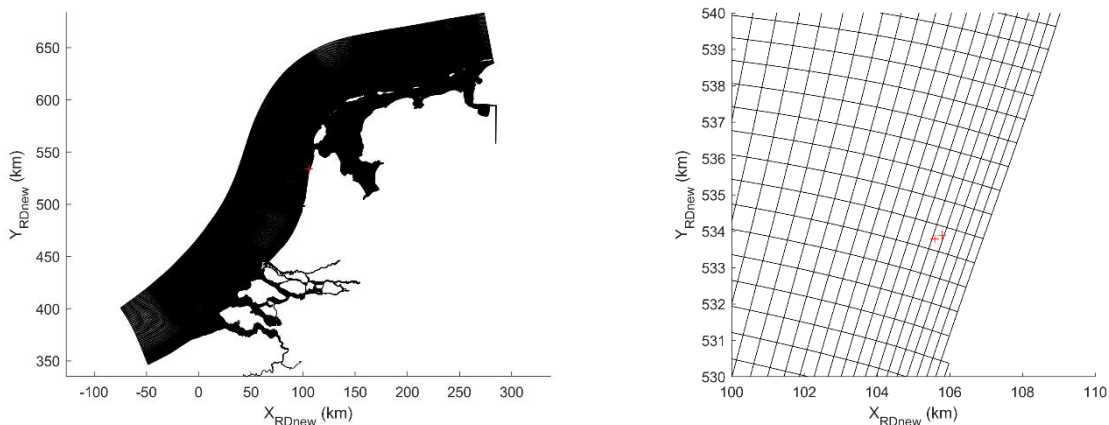
Figuur 3 Gemiddelde, minimale en maximale zeewatertemperatuur per dag (resp. avg_Petten, min_Petten en max_Petten) bij Petten, geanalyseerd over de periode 2000-2012.

Op basis van deze analyse zijn de watertemperaturen voor het winter- en zomerscenario voor de koelwaterstudie als volgt gekozen:

- Temperatuur winterscenario: 1 °C, op basis van de laagst gemeten waarde.
- Temperatuur zomerscenario: 22 °C, conform de maximale temperatuur die beschouwd hoeft te worden volgens de beoordelingssystematiek (en niet de hoogste gemeten temperatuur: 23 °C)

2.4 Kuststrook model RWS

Rijkswaterstaat heeft een groot aantal standaard modelschematisaties van de Nederlandse wateren beschikbaar die zijn opgezet in Delft3D (of het vergelijkbare SIMONA). Een van deze modellen dekt de Noordzeekust. Figuur 4 laat het totale rekenrooster zien en een detail van dit rooster rondom de uitlaatlocaties.



Figuur 4 Rekenrooster van het kuststrook model, geheel (links) en detail rond de uitlaat (rechts). De rode plussen tonen de locaties van de uitlaten van de HFR en de PALLAS-reactor.

3 Modelstudie

De modelstudie bestaat zoals in de inleiding beschreven uit 4 stappen.

In **stap 1** is het bestaande, grootschalige Delft3D-model van de Nederlandse kust (Kuststrook) gevalideerd om aan te tonen dat het model in staat is om de watertemperatuur in de Noordzee correct te modelleren. Het model is omgezet van 2D (dieptegemiddeld) naar 3D, met 4 lagen in de verticaal, en gedraaid voor een heel jaar. Op basis van beschikbare gegevens is ervoor gekozen om deze validatie uit te voeren voor het jaar 2016. Het model wordt geforceerd met de (astronomische) waterstanden op zee, rivierafvoeren (Schelde, Maasmond), spuidebieten (IJmuiden, Haringvlietsluizen, Den Oever, Kornwerderzand) en meteorologische data (wind, bewolgingsgraad, luchtvochtigheid, luchttemperatuur) en de watertemperatuur op de open randen en voor alle rivierafvoeren en lozingsgebieden. Voor de watertemperatuur op zee is gebruik gemaakt van de metingen in K13a Platform, bij gebrek aan een station dichterbij de open rand.

Ten behoeve van de CFD-modellering in stap 3, dienen de omgevingscondities afgeleid te worden ter plaatse van de koelwater-uitlaat. Dit betreft de stroomsnelheid en de saliniteit. Dit is gedaan in **stap 2**. Vanwege het benodigde detailniveau is hiervoor het bestaande model lokaal verfijnd, door middel van twee geneste modellen. Dit wordt nader toegelicht in paragraaf 3.2. Omdat het model met lokale verfijningen veel rekentijd vergt, is besloten om dit model te draaien voor twee doortij-springtijperioden, een in de winter en een in de zomer. In plaats van de watertemperatuur van 2016 op de open rand op te leggen, is besloten om uit te gaan van de gekozen scenario-temperaturen 1 °C voor de winter en 22 °C voor de zomer. Op deze manier kunnen deze berekeningen tevens dienst doen als referentieberekening voor de latere koelwaterberekeningen in stap 4, zonder dat dit significante invloed heeft op de berekende saliniteit en stroomsnelheid ter plaatse van de PALLAS uitlaat.

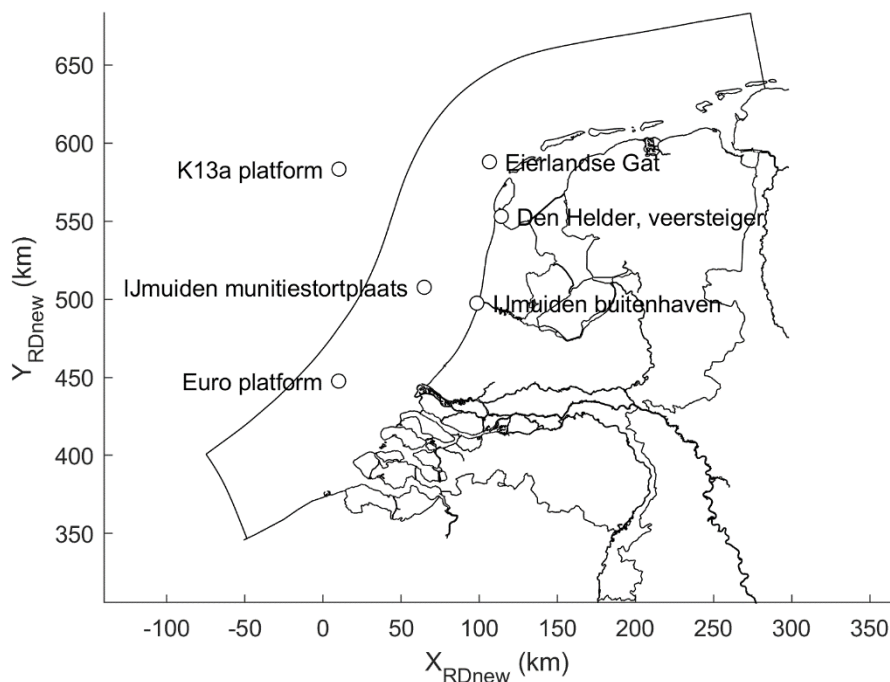
In **stap 3** wordt de lokale menging van de koelwaterlozing van PALLAS geanalyseerd. Hiervoor wordt een model opgezet in het CFD-model FLOW-3D van de nabije omgeving van de uitlaat (± 10 m rondom), inclusief de uitlaat zelf en een deel van de aanvoerleiding. Nadat het model is getest, worden vier relevante condities doorgerekend, te weten een kentering en een maximale getijstroom tijdens de winter en een kentering en een maximale getijstroom tijdens de zomer, waarbij de maximale getijstroom is afgeleid in stap 2. Om de rekentijd niet te ver op te laten lopen, is de simulatietijd beperkt tot zich een stationaire stroming heeft ingesteld.

De FLOW-3D-berekeningen voor kentering en maximale getijstrooming laten maar een deel van de realiteit zien. Doordat de simulatieduur van de berekening relatief kort is (orde minuut) is het totale volume aan koelwater ook gering, terwijl er in werkelijkheid permanent wordt geloosd. In de berekening voor de maximale getijstroom stroomt het koelwater uiteindelijk het domein uit, waar het in werkelijkheid met de getijstrooming na kentering ook weer richting uitlaat terugstroomt. Om te kijken of de verversing door het getij en de afkoeling met de omgeving voldoende groot is, is dit in het Delft3D-model van de Nederlandse kust verder onderzocht in **stap 4**. Hiervoor zijn de koelwaterlozingen voor zowel de overgangsfase (HFR en PALLAS) als de productiefase (alleen PALLAS) aan het model uit stap 2 toegevoegd, met het juiste debiet, saliniteit en temperatuur.

In dit hoofdstuk worden elk van de vier stappen nader toegelicht.

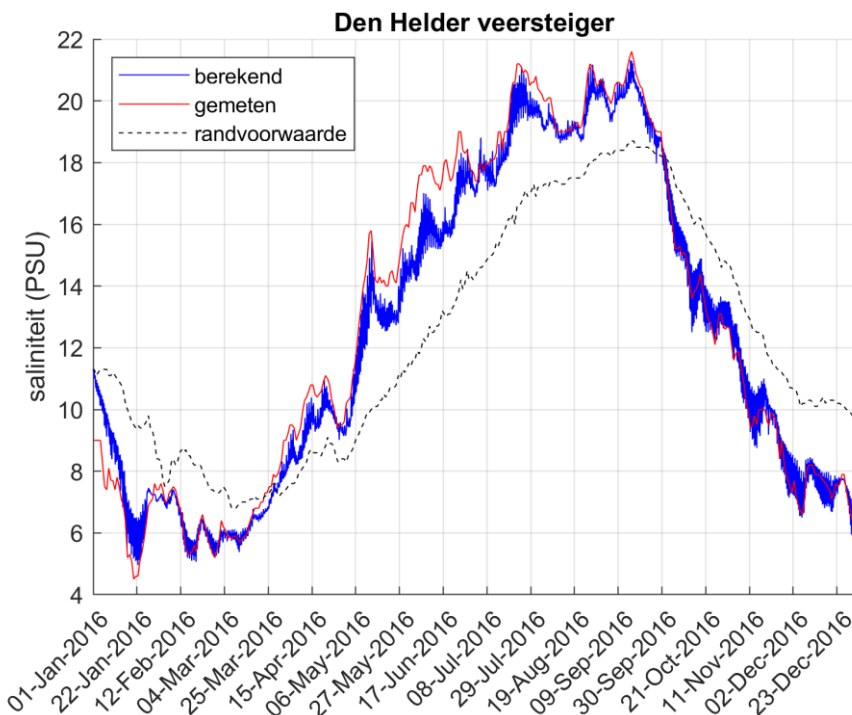
3.1 Stap 1: Validatie kuststrook

De berekende watertemperaturen voor 2016 zijn voor vijf stations vergeleken met metingen. De vijf locaties zijn in figuur 5 weergegeven.

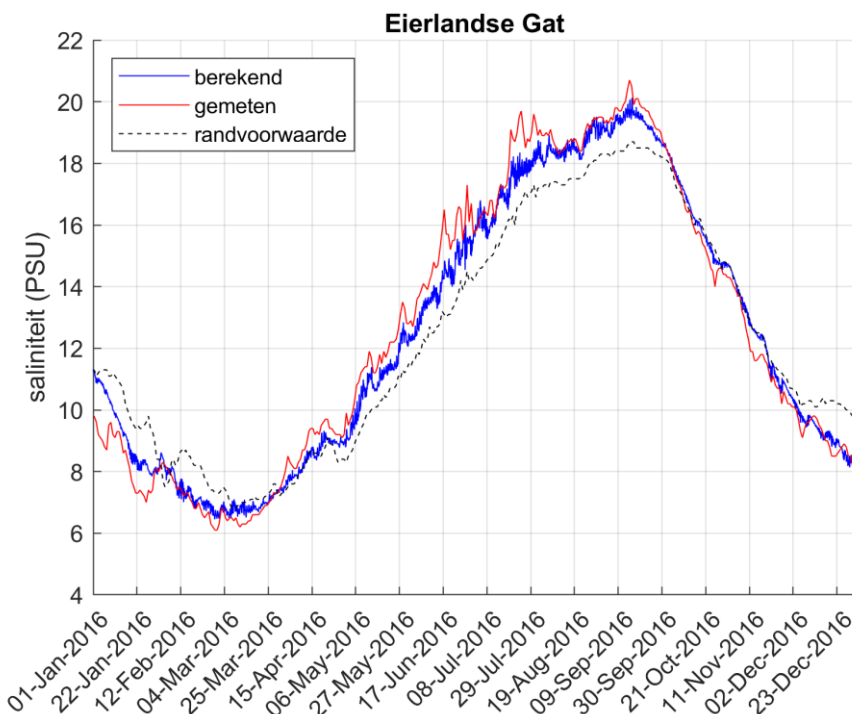


Figuur 5 Ligging van de vijf stations waarvoor gemeten en berekende watertemperatuur is vergeleken en ligging station K13a platform ten opzichte van de open rand van het model (zwarte lijn).

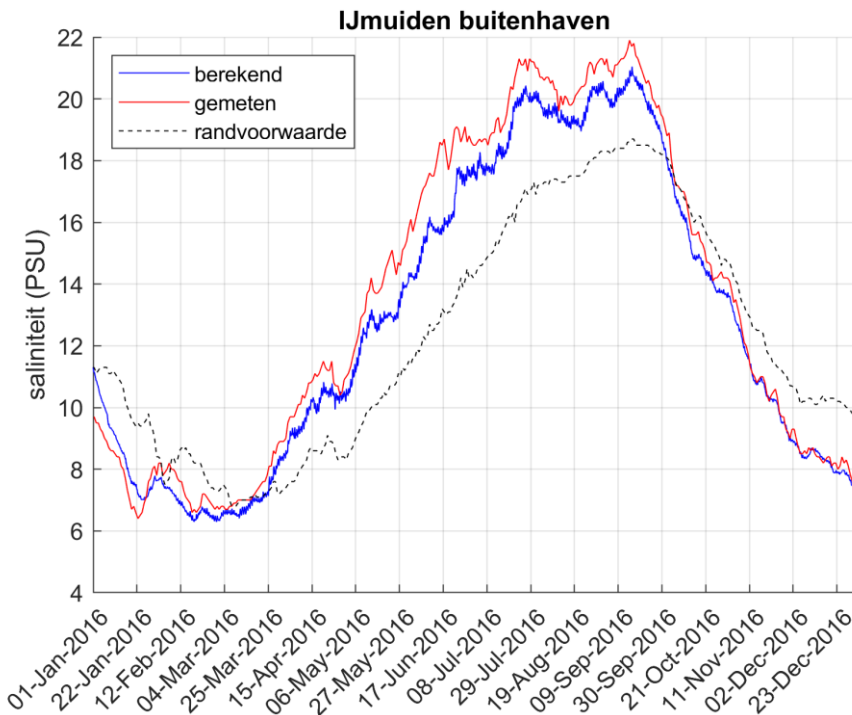
De Delft3D-resultaten in de stations zijn in figuren 6 tot en met 10 weergegeven. Ter referentie is ook de watertemperatuur op de open rand ook weergegeven.



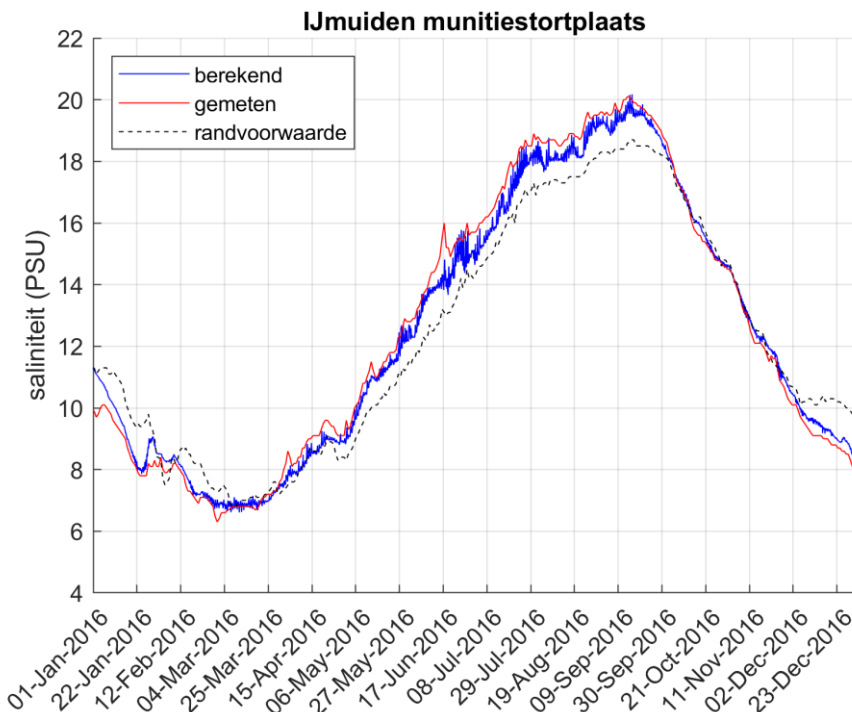
Figuur 6 Vergelijking van de gemeten en berekende watertemperatuur in Den Helder veersteiger en de opgelegde temperatuur op de open rand.



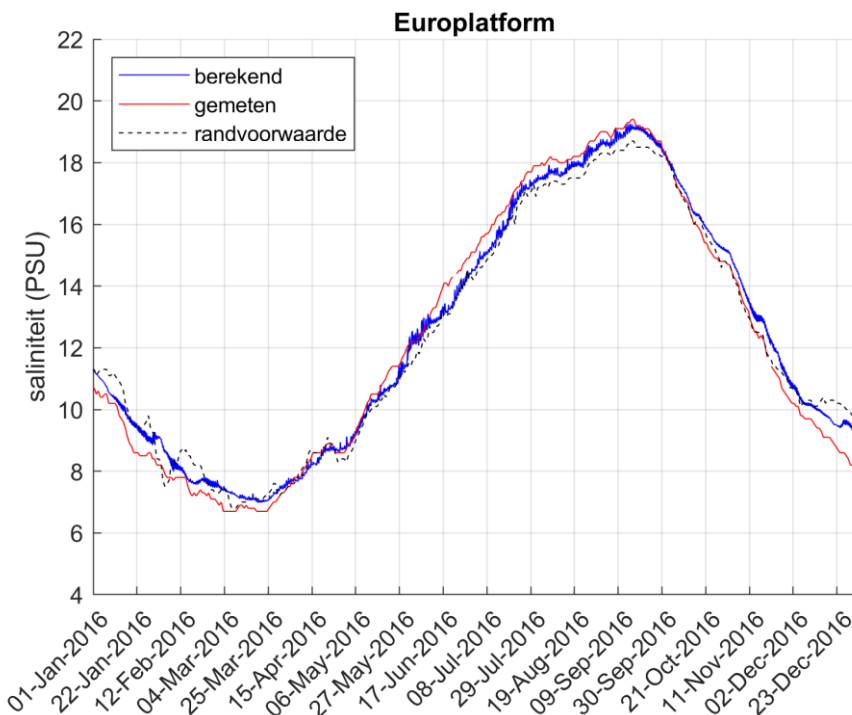
Figuur 7 Vergelijking van de gemeten en berekende watertemperatuur in Eierlandse Gat en de opgelegde temperatuur op de open rand.



Figuur 8 Vergelijking van de gemeten en berekende watertemperatuur in IJmuiden buitenhaven en de opgelegde temperatuur op de open rand.



Figuur 9 Vergelijking van de gemeten en berekende watertemperatuur in IJmuiden munitiestortplaats en de opgelegde temperatuur op de open rand.



Figuur 10 Vergelijking van de gemeten en berekende watertemperatuur in Europlatform en de opgelegde temperatuur op de open rand.

De berekende watertemperatuur in de drie stations op zee (Euro platform, Eierlandse Gat en IJmuiden munitiestortplaats) komen goed met de metingen overeen. Het model loopt wel iets achter bij het gemeten temperatuurverloop. In het voorjaar liggen de temperaturen over het algemeen iets te laag, terwijl in het najaar de berekende temperatuur juist iets hoger ligt dan de metingen. De ondiepere kustzone zal in het voorjaar onder invloed van de zon sneller opwarmen dan de diepere Noordzee en in het najaar ook langzamer afkoelen. De temperatuur op de open rand zal dan ook ergens tussen die van K13a Platform en de stations dicht bij de kust liggen. Indien die wel bekend zou zijn, zouden de resultaten waarschijnlijk verbeteren.

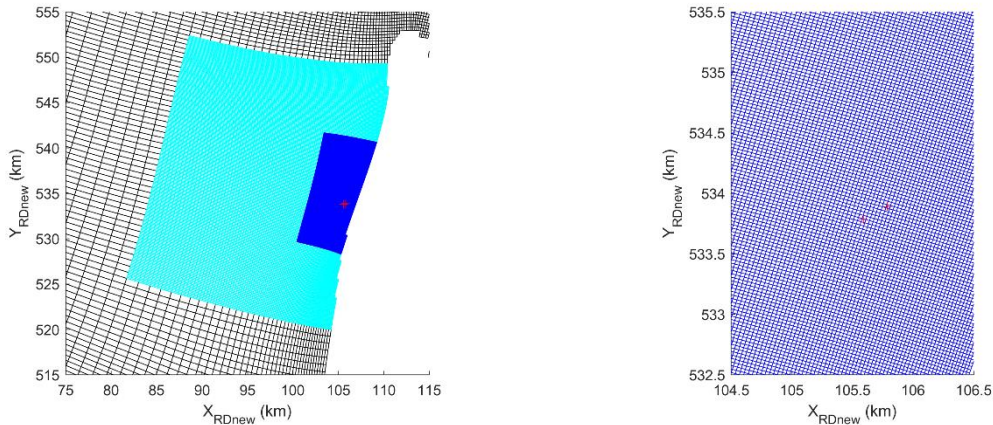
Bij de twee stations bij de kust (Den Helder en IJmuiden buitenhaven) zijn de verschillen tussen model en metingen groter, maar zijn de verschillen wel acceptabel. Een verklaring voor de verschillen is niet eenvoudig te geven. Mogelijk speelt de grofheid van het rekenrooster een rol, waardoor de diepteverschillen nabij de kust en in de haven niet nauwkeurig kunnen worden geschematiseerd, of worden de watertemperaturen beïnvloed door warmtelozingen die niet in het model zitten.

Omdat voor de berekeningen met koelwaterlozing(en) het model gebruik maakt van een voorgeschreven watertemperatuur, geeft dit voldoende vertrouwen dat het model ook in staat is om het effect van één of meerdere koelwaterlozingen te modelleren. Daarbij gaat het ook om het relatieve effect van de koelwaterlozing ten opzichte van een situatie zonder lozingen. Hiervoor is de nauwkeurigheid waarmee de temperatuurvariatie over de seizoenen wordt gemodelleerd minder van belang.

3.2 Stap 2: Kuststrook met lokale verfijning voor omgevingscondities en referentiesituatie

Voor het bepalen van de omgevingscondities voor stap 3 en de grootschalige koelwaterspreidingsberekeningen in stap 4 is de resolutie rondom de uitlaat relatief laag, zoals in figuur 4 te zien is. De roostercellen in die omgeving zijn orde 700 m bij 300 m, terwijl de onderlinge afstand tussen de huidige en nieuwe uitlaat slechts 224 m bedraagt. Vandaar dat ten behoeve van de grootschalige berekeningen voor de koelwaterspreiding het rooster in twee

stappen is verfijnd tot orde 27,5 m bij 27,5 m, zodat beide uitlaten individueel kunnen worden geschematiseerd (zie figuur 11).



Figuur 11 Rekenroosters van de twee geneste modellen, geheel (links) en detail rond de uitlaat (rechts).

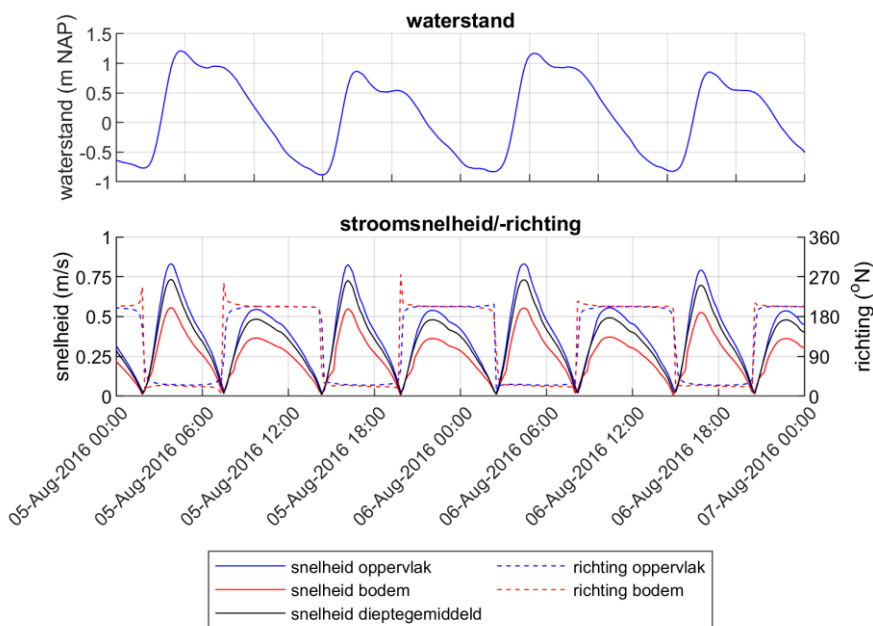
In beide geneste modellen zijn 8 equidistante lagen in de verticaal toegepast. De modelbodem voor beide geneste deelmodellen is gebaseerd op de vaklodingen die voor dit gebied met een resolutie van 20 m beschikbaar zijn.

Omdat de rekentijd van dit model met verfijning erg groot is, zijn twee doortij-springtij perioden van 15 dagen geselecteerd:

- winter: 15 februari – 1 maart
- zomer: 1 augustus – 16 augustus

In beide gevallen is er een periode van 5 dagen gebruikt om het model in te laten spelen.

Figuur 12 toont de berekende waterstanden en stroomsnelheden en -richtingen tijdens het springtij van 5-7 augustus.



Figuur 12 Berekende waterstand en stroming ter plaatse van de uitlaat bij springtij.

Het getij wordt gekarakteriseerd door een korte vloedperiode met relatief hoge stroomsnelheden in noordnoordoostelijke richting en een langere ebperiode met lagere stroomsnelheden in zuidzuidwestelijke richting. De maximale dieptegemiddelde snelheid over deze twee doottij-springtij perioden ligt tussen 0,75 en 0,8 m/s en tussen 0,85 en 0,9 m/s aan het oppervlak. Bij eb ligt dit tussen 0,45 en 0,55 m/s. In de CFD-studie is voor de achtergrondnelheid dan ook gekozen voor de twee uitersten: 0,85 m/s (maximale vloed) en 0 m/s (kentering).

De modeluitvoer van beide perioden laat zien dat de saliniteit varieert tussen de 31 en 34 PSU (1 PSU komt ongeveer overeen met 1 gr zout per liter water), zodat een waarde van 32,5 PSU een redelijke aanname is voor de achtergrondsaliniteit in de CFD-studie.

3.3 Stap 3: CFD voor lokale menging

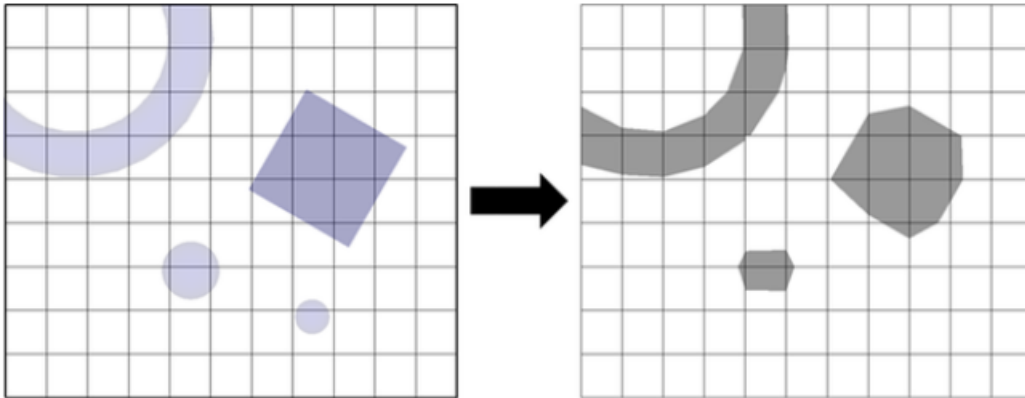
Gebruikte model

Het voor deze CFD-studie gebruikte programma FLOW-3D is een commercieel CFD-pakket, dat in de jaren '80 op de markt is gekomen. Het pakket is ontwikkeld door het Amerikaanse Flow Science (Santa Fe, New Mexico) en wordt door Arcadis veelvuldig toegepast in CFD-projecten. Dit pakket is vanaf het begin ontwikkeld met het oog op tijdsafhankelijke berekeningen met een vrij wateroppervlak. Dit in tegenstelling tot andere CFD-pakketten die zijn ontwikkeld voor gesloten leidingsystemen, maar waar later mogelijkheden van berekening met een vrij wateroppervlak aan zijn toegevoegd. Omdat we in deze studie specifiek kijken naar de langs- en dwarsstroom in de omgeving van de kering, en speciaal aan het oppervlak, is dit het belangrijkste argument geweest om voor dit pakket te kiezen.

Voor de modellering van het vrije wateroppervlak wordt gebruik gemaakt van een zogenaamde Volume-of-Fluid (VoF) methode. Het model rekent voor elke rekencel uit welke fractie van de cel gevuld is met vloeistof. Vervolgens wordt dit gebruikt om een scherpe interface te definiëren die het wateroppervlak beschrijft. Vervolgens wordt op dit oppervlak een randvoorwaarde voorgeschreven, in dit geval de atmosferische druk.

Zoals in paragraaf 2.2 is benoemd, is de dikte van de geometrie aangepast om deze met voldoende detail in het gebruikte rooster te kunnen schematiseren. Dit heeft te maken met de manier waarop in FLOW-3D de geometrie

wordt geschematiseerd. FLOW-3D gebruikt een methode die FAVOR (Fractional Area-Volume Obstacle Representation) wordt genoemd. In figuur 13 is deze methode schematisch weergegeven. De geometrie wordt geschematiseerd door een rekenel een gegeven fractie te blokkeren op basis van het volume dat binnen de rekenel valt.



Figuur 13 FAVOR concept, links de object definitie, rechts hoe dit wordt geschematiseerd door cellen gedeeltelijk of volledig te blokkeren.

Om te voorkomen dat er gaten in de schematisatie komen bij onvoldoende dikte, dient een minimale dikte van 1,5 – 2 maal de roosterafmetingen aangehouden te worden voor de outfall boven het bodemniveau, dus zowel de pijp als de duckbill valve. In dit geval is een dikte van 13,5 cm toegepast om vrijheid te hebben om met de roosterresolutie te kunnen variëren (tot maximaal 7 cm nabij de uitlaat).

Het grote voordeel van deze methode is dat kubusvormige rekencellen vanuit numerieke stabiliteit het best zijn en tegelijk dat het opzetten van een rooster een significant kleinere inspanning vergt dan voor een rooster dat de geometrie wel precies moet volgen. Hoewel dit leidt tot een minder precieze schematisatie van de geometrie dan bij een methode waarbij het rooster de geometrie nauwkeurig volgt (boundary-fitted mesh), kan dit voor een groot deel worden opgeheven door daar waar de geometrie evenwijdig aan de roosterlijnen georiënteerd is, die roosterlijnen aan te laten sluiten op de geometrie.

De 3D CAD geometrie uit paragraaf 2.2 is gebruikt voor de opzet van een eerste model. Het model dekt een gebied van 30 m bij 30 m, met de uitstroomopening centraal in het domein. In de verticaal loopt het domein van de onderkant van de pijp tot 1 m boven het wateroppervlak. Op de open randen rondom wordt een vaste waterstand opgelegd van NAP 0 m in combinatie met een hydrostatische drukverdeling en geen gradiënt (zero-gradient randvoorwaarde) voor de turbulente kinetische energie (k) en dissipatie (ϵ). Water dat door de open randen naar binnen stroomt, heeft een gegeven saliniteit en temperatuur. Daarnaast kan water ook vrijuit naar buiten stromen. Op de bovenste rand is een atmosferische druk van 1013 hPa (1 atm.) opgelegd. De koelwaterlozing wordt middels een debiet in de pijp voorgeschreven, in 1 sec van 0 naar de vaste waarde van 0,917 m³/s oplopend, met een gegeven saliniteit (0,3 kg/m³, zoet water) en temperatuur (35 °C).

Het model is geïnitieerd met water in rust en een hydrostatische drukverdeling tot een niveau van NAP 0 m, de saliniteit en bij het seizoen behorende temperatuur. In de koelwaterleiding is de temperatuur vanaf het begin van de berekening al op 35 °C gezet en de saliniteit op 0,3 kg/m³. Voor de simulaties met vloed wordt de achtergrond snelheid ook initieel en op de bovenstroomse rand als randvoorwaarde voorgeschreven. Als eindtijd is een waarde van 60 sec aangehouden. FLOW-3D past op de wanden van de constructie een no-slip randvoorwaarde toe, waarbij tevens een wandruwheid van 0,06 mm (glad beton) is opgegeven.

Gevoeligheidsberekeningen

Met dit model zijn vervolgens een aantal gevoeligheden onderzocht, voordat de definitieve berekeningen zijn aangezet:

- roosterresolutie

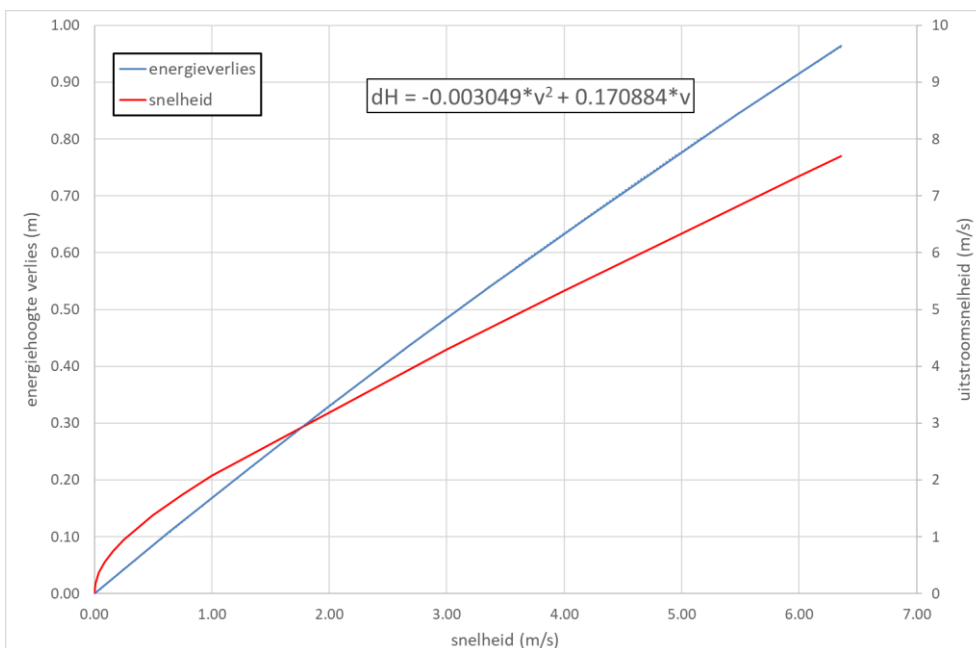
Er zijn drie resoluties onderzocht, te weten 7 cm (13 cellen in pijpdiameter), 6 cm (15 cellen) en 4,75 cm (19 cellen) ter plaatse van de uitstroompijp in x-richting. In alle gevallen is hetzelfde aantal cellen ook gebruikt voor de kleinste breedte van de uitstroomopening in de y-richting (totaal 39 cm), dus in y-richting is de celgrootte orde 2,3 kleiner dan in x-richting. In de verticaal is hetzelfde aantal cellen ook toegepast in de horizontale sectie van de 90 cm pijp en 2 cellen minder in de smallere pijp. In alle gevallen is de celgrootte naar de buitenkant van het domein en richting wateroppervlak geleidelijk vergroefd om rekentijd te besparen.

- kentering of vloed
Ten behoeve van de vloedconditie is het model in benedenstroomse richting met 10 m verlengd.
- het turbulentiemodel
Beschouwd zijn k-ε RNG en k-ω, de twee meest gebruikte turbulentiemodellen voor dit soort uitstromings-studies.
- manier waarop de duckbill valve het best kan worden gemodelleerd
Er is gekeken of een realistische vorm met verlies van energiehoogte en toename van de uitstroomsnelheid of zonder beide door middel van een rechte uitlaatpijp.

De duckbill valve is het ingewikkeldste onderdeel om te modelleren. Het doel van de duckbill valve is om te voorkomen dat er zeewater de koelwaterleiding in stroomt. Zonder waterdruk is de uitstroomopening samengedrukt en als er water doorstroomt, duwt dit de klep uit elkaar. Omdat het doorstroomoppervlak kleiner is dan dat van de pijp, neemt de uitstroomsnelheid toe. De fabrikant PROCOC heeft gegevens verstrekt van de uitstroomsnelheid en energieverlies over de duckbill valve als een functie van het doorstroomdebiet.

In FLOW-3D is het niet mogelijk om de functionaliteit van de rubberen klep realistisch te modelleren. Het is wel mogelijk om de klep als onderdeel van de geometrie te modelleren, zodat de toename van de uitstroomsnelheid correct is. De vorm van de uitstroom is zodanig gekozen dat die bestaat uit twee gedeeltes van een cirkelsegment met het juiste doorstroomoppervlak en een lengte van het segment dat overeenkomt met de lengte van de klep.

Het energieverlies wordt vervolgens gecontroleerd door middel van een zogenaamde “porous baffle”, een schematisatie-element die als een poreuze laag zorgt voor een gegeven weerstand. In figuur 14 is de relatie tussen aanstroomsnelheid en energiehoogte verlies weergegeven en de tweede orde polygoon die daarop gefit is. In deze studie zijn we uitgegaan van de zwaarste uitvoering van dit type duckbill valve.



Figuur 14 Energieverlies en uitstroomsnelheid van de duckbill valve volgens opgave van de fabrikant PROCOC en lineaire fit op het energieverlies.

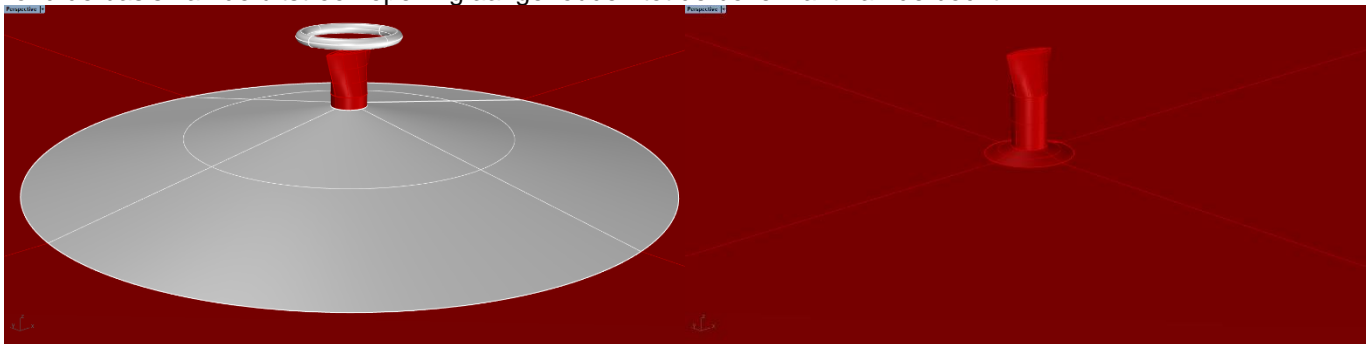
In FLOW-3D is het drukverlies over de “porous baffle” gedefinieerd als:

$$\Delta P = \rho g \Delta H = \rho \left(K_1 u + \frac{1}{2} K_2 u |u| \right)$$

Hieruit volgen waarden voor de verliescoëfficiënten $K_1 = 1.676$ m/s en $K_2 = -0.060$. Bij een debiet van $0,917 \text{ m}^3/\text{s}$ en een diameter van $0,90 \text{ m}$, komt dit neer op een verlies aan energiehoogte van $24,1 \text{ cm}$ en een uitstroomsnelheid van $2,61 \text{ m/s}$.

Deze relaties gelden voor de zwaarste uitvoering van de duckbill valve. Voor de lichte en middelste versies zijn de waarden voor verlies aan energiehoogte respectievelijk $15,9 \text{ cm}$ en $20,0 \text{ cm}$ en de uitstroomsnelheid respectievelijk $2,28 \text{ m/s}$ en $2,45 \text{ m/s}$.

Om het effect van het ontwerp op de resultaten te onderzoeken, zijn twee varianten beschouwd (zie figuur 15) in combinatie met de vloedstroming. In de ene variant is het ontwerp conform de tekening gemodelleerd. Bij de andere variant is de bodembescherming en beschermingsconstructie niet meegenomen. Er is alleen een kleine verhoging rond de basis van de uitstroomopening aangehouden tot de bovenkant van de bocht.



Figuur 15 De twee onderzochte varianten van het ontwerp, met bodembescherming en bovenste ring van de beschermingsconstructie (links) en zonder (rechts).

De resultaten van de gevoeligheidsstudie kunnen als volgt worden samengevat:

- De middelste resolutie geeft de beste resultaten. Bij een grover rooster wordt de straal van de uitstroom instabieler. Het fijnste rooster laat vergelijkbare resultaten zien als het middelste rooster, maar leidt tot erg lange rekentijden. Wel dient de roostercellen in de verticaal richting wateroppervlak niet teveel te worden uitgerekt, om het opbreken van de straal met voldoende detail te kunnen modelleren.
- Het duurt ongeveer 20-30 sec voordat de straal volledig ontwikkeld is en de resultaten (quasi-)stationair worden. Door loslaatverschijnselen van de stroming blijft er een kleine fluctuatie van het stroompatroon zichtbaar. Voor de definitieve berekeningen wordt een eindtijd van 40 sec aangehouden.
- Het berekende verlies aan energiehoogte over de duckbill valve komt met orde 20-22 cm goed overeen met de gegevens van de fabrikant. Om het berekende verlies beter overeen te laten komen, zouden de verliescoëfficiënten K_1 en K_2 iteratief kunnen worden aangepast. Op het stroombeeld zal dit verschil in energieverlies geen significant effect hebben. Om de doorlooptijd van de studie niet te groot te laten worden, zijn daarom de hierboven beschreven waarden aangehouden.
- Bij kentering is de uitstroom als een compacte straal richting oppervlak gericht, terwijl die bij vloed door de stroming al snel wordt opgebroken en zich verspreidt. De uitbreiding van het rooster benedenstrooms kan gehalveerd worden van 10 m naar 5 m .
- Met het $k-\epsilon$ RNG turbulentiemodel blijft de straal tot het wateroppervlak stabiel, terwijl die bij het $k-\omega$ turbulentiemodel de straal richting oppervlak eerder opbreekt. Aangezien de resultaten van het eerste turbulentiemodel dus conservatiever zijn, is dit gebruikt in de definitieve berekeningen.

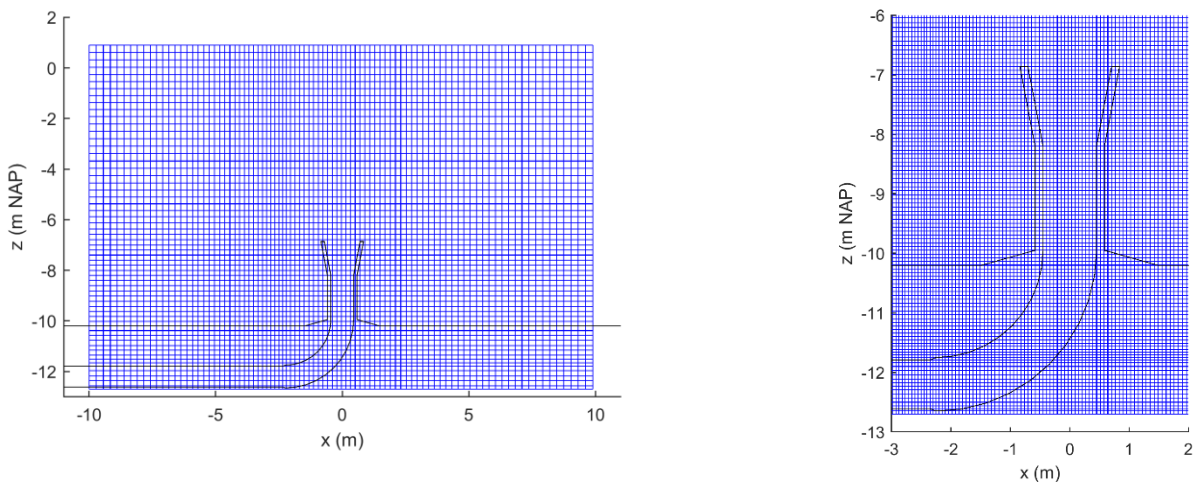
- Het verschil tussen beide schematisaties van het ontwerp, met of zonder bodembescherming en beschermconstructie is minimaal. De ring zorgt voor wat extra turbulentie, maar die is niet zodanig dat dit de straal significant beïnvloedt. Ook zorgt de bodembescherming niet voor een stromingscomponent richting de bodem die de verspreiding van de koelwaterpluim richting de bodem versterkt.

Definitieve modelberekeningen

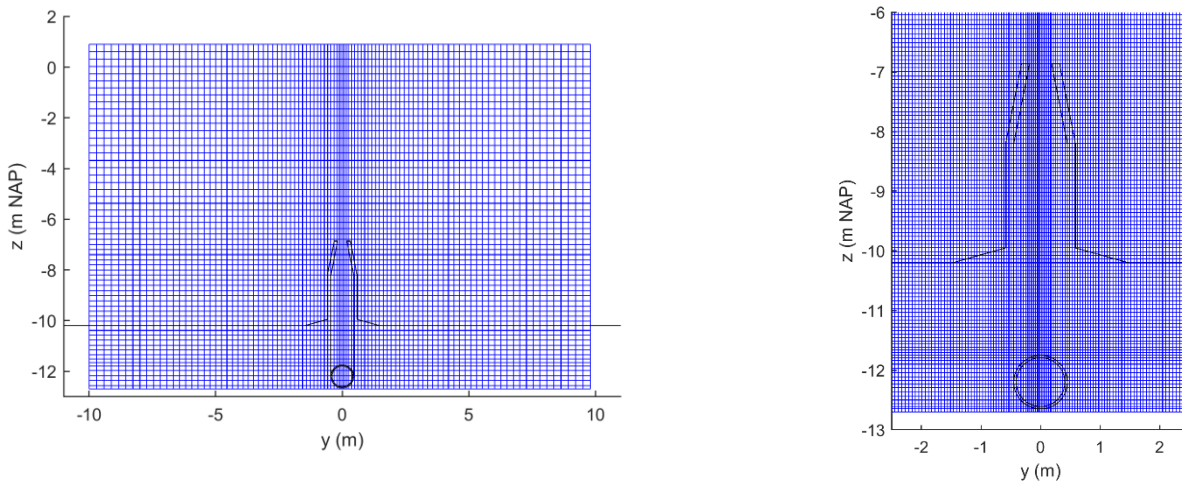
Op basis van de resultaten tot nu toe, zijn voor de definitieve berekeningen dus de volgende keuzes gemaakt:

- Middelste resolutie, maar met hogere verticale resolutie in de waterkolom rond wateroppervlak
- Aangezien de verspreiding van de straal beperkt is, is de omvang van het rekendomein in de horizontaal bij kentering teruggebracht naar 20 m bij 20 m.
- De rekestijd is beperkt tot 40 sec.
- Voor de vloedconditie kan de uitbreiding van het rekendomein beperkt blijven tot 5 m benedenstreams
- Het k- ϵ RNG turbulentiemodel wordt toegepast
- In het model wordt de bodembescherming en de beschermingsconstructie niet meegenomen.

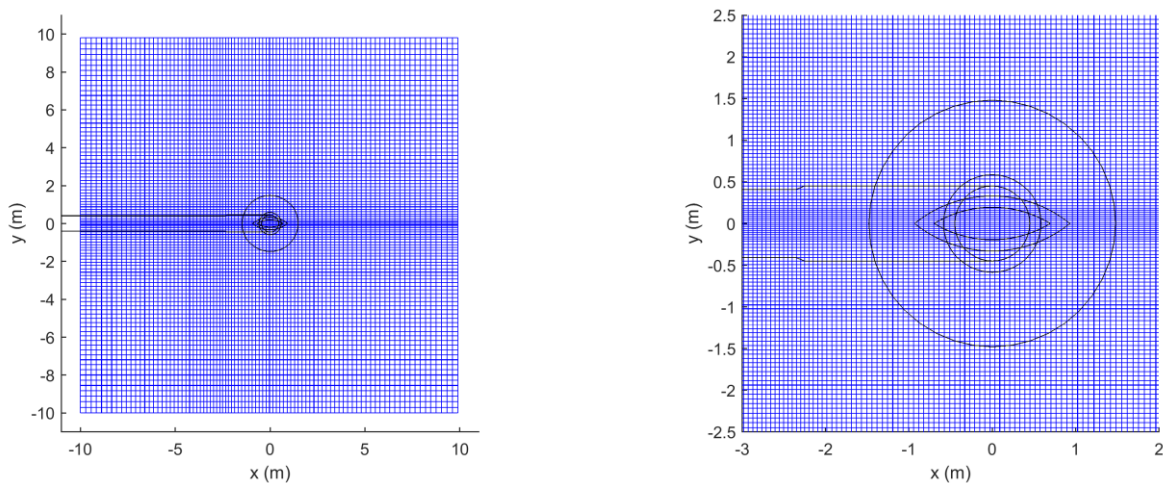
Het uiteindelijke rekenrooster is in figuren 16 tot en met 18 weergegeven.



Figuur 16 Zijaanzicht van het rekenrooster, totale domein (links, 1-op-3 roosterlijnen weergegeven) en detail rond uitlaat (rechts, alle roosterlijnen).



Figuur 17 Vooraanzicht van het rekenrooster, totale domein (links, 1-op-3 roosterlijnen weergegeven) en detail rond uitlaat (rechts, alle roosterlijnen).

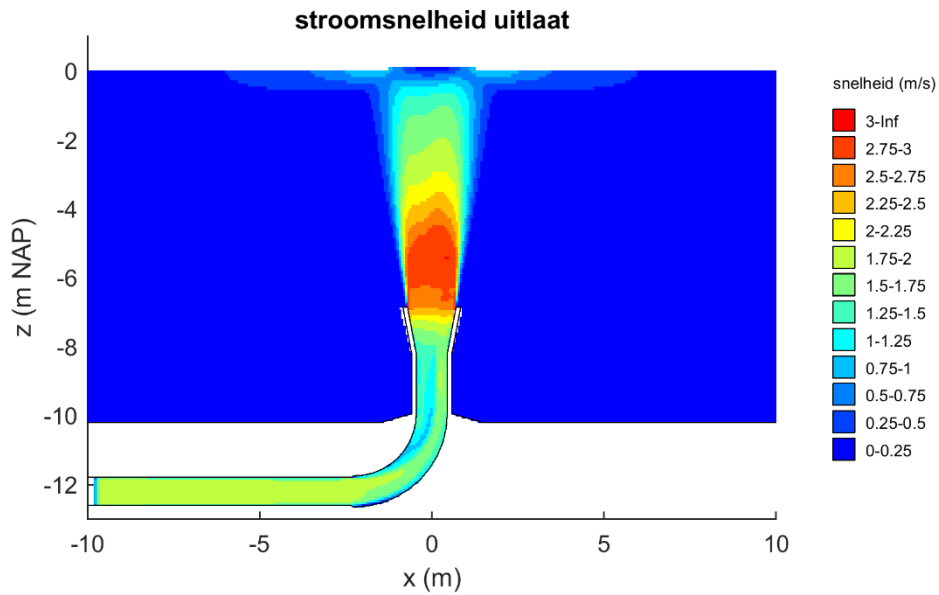


Figuur 18 Bovenanzicht van het rekenrooster, totale domein (links, 1-op-3 roosterlijnen weergegeven) en detail rond uitlaat (rechts, alle roosterlijnen).

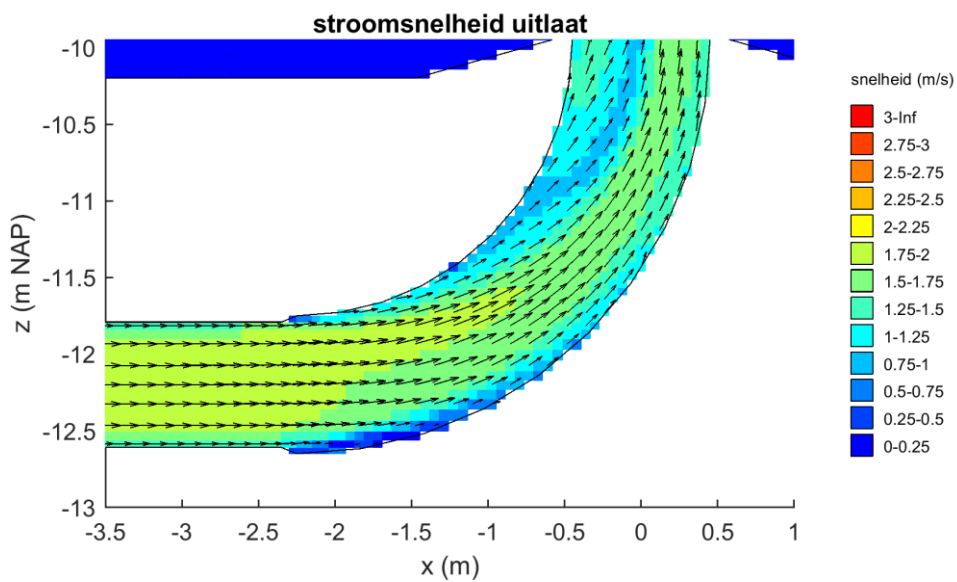
In de volgende vier sub-paragrafen worden de resultaten per conditie besproken.

3.3.1 Kentering – winter

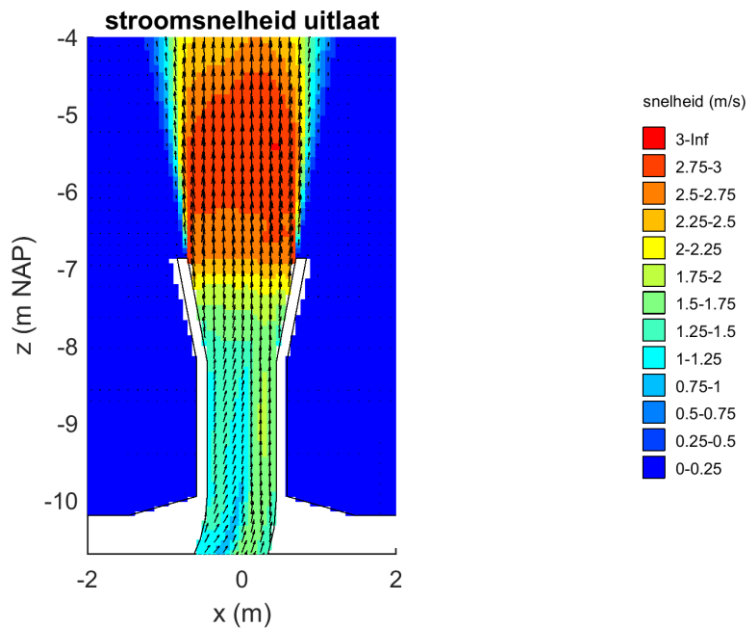
Voor de winter is uitgegaan van een debiet van 3.300 m³/uur als een conservatieve aanpak en om de resultaten voor zomer en winter eenvoudig te kunnen vergelijken. In figuren 19 tot en met 21 is het stroompatroon na 40 sec weergegeven in een dwarsdoorsnede in de lengterichting van de uitlaat, respectievelijk een totaalplaatje, een detail in de bocht en door de uitlaat. In figuren 22 en 23 is hetzelfde gedaan in een doorsnede loodrecht op de uitlaat, dwars op de as van de duckbill valve.



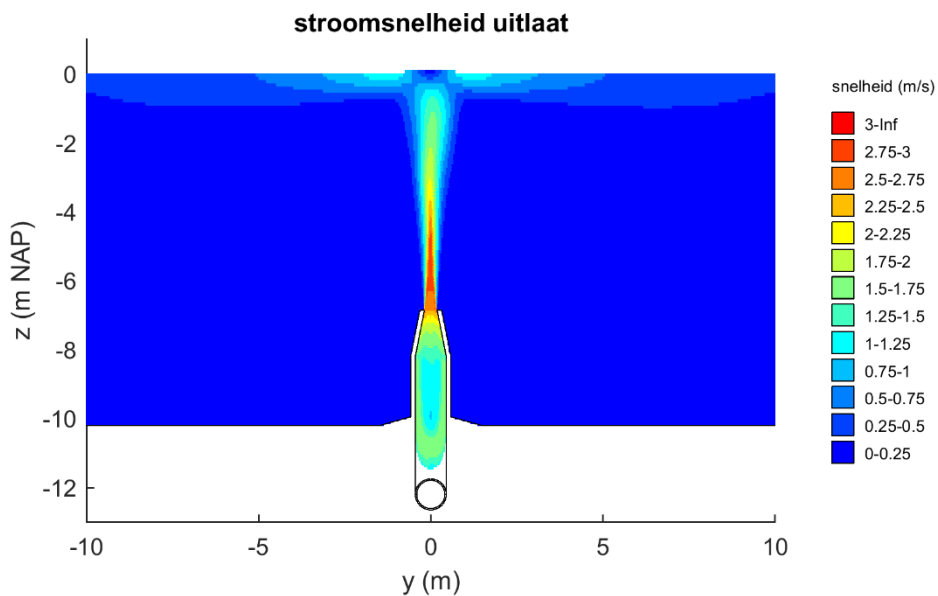
Figuur 19 Stroomsnelheid in een doorsnede parallel aan de uitlaat.



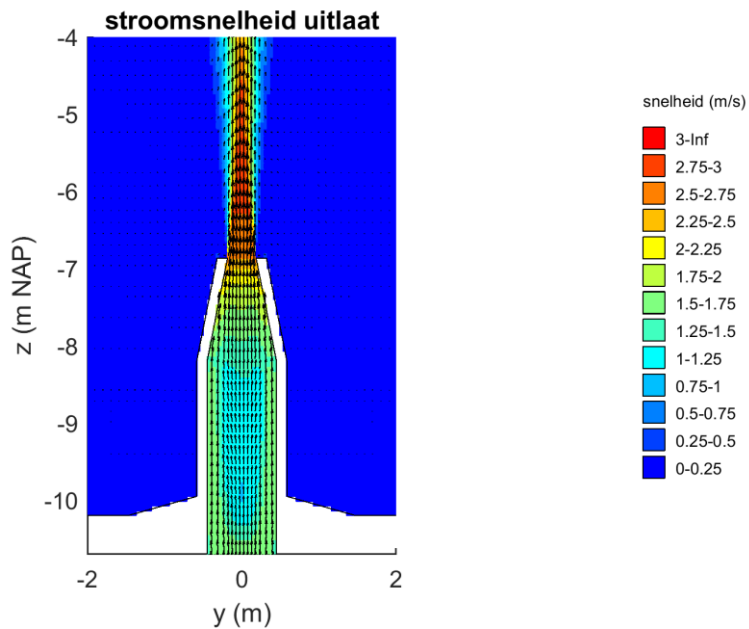
Figuur 20 Stroomsnelheid, detail bocht (vectorveld in beide richtingen met factor 2 uitgedund).



Figuur 21 Stroomsnelheid, detail uitlaat (vectorveld in beide richtingen met factor 2 uitgedund).



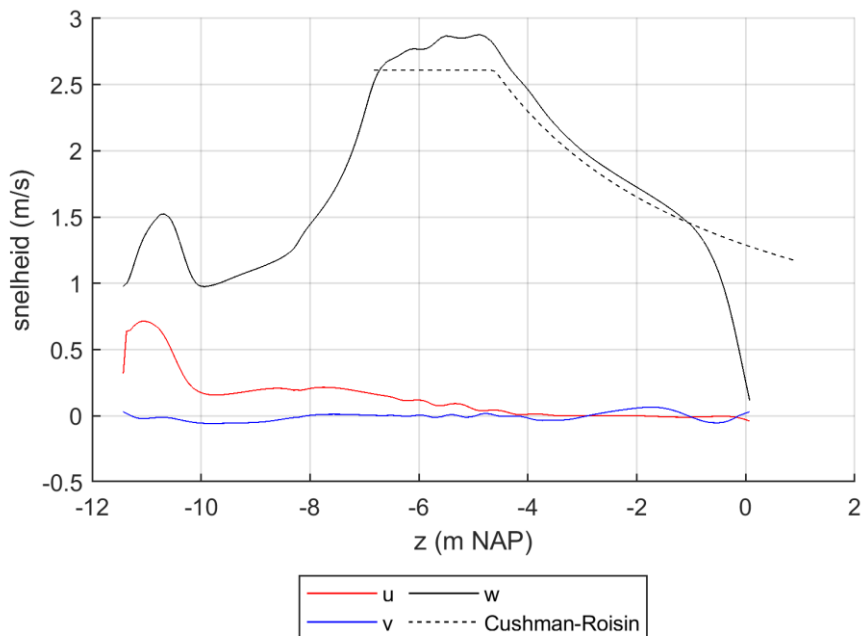
Figuur 22 Stroomsnelheid in een doorsnede dwars op de uitlaat.



Figuur 23 Stroomsnelheid, detail uitlaat (vectorveld in beide richtingen met factor 2 uitgedund).

Daar waar de straal het oppervlak bereikt, vindt er een beperkte verstoreng van het wateroppervlak plaats.

De drie snelheidscomponenten langs een verticale lijn dwars door de uitlaat zijn in figuur 24 weergegeven.



Figuur 24 Verloop van de drie snelheidscomponenten langs de as van de uitlaat en vergelijking met theoretisch profiel [Cushman-Roisin, B., *Environmental Fluid Mechanics, Turbulent Jets*, Thayer School of Engineering, Dartmouth College].

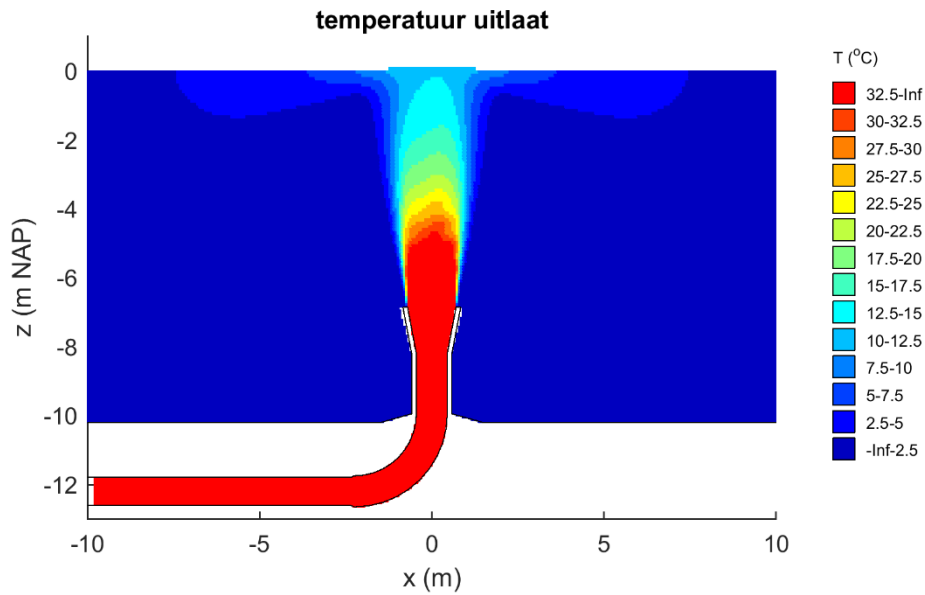
Onder $z = -9,95$ m NAP bevindt zich de bocht en is de u-component relatief groot, daarboven neemt deze component sterk af en is de stroming voornamelijk verticaal. Tussen $z = -8,20$ m NAP en $z = -6,863$ m NAP neemt de verticale snelheidscomponent toe door de afname van het doorstroomoppervlak in de duckbill valve.

In de figuur is ook een theoretisch snelheidsprofiel weergegeven die de snelheidsverdeling van een vrij uitstromende straal in stilstaand water met dezelfde dichtheid beschrijft. De modelresultaten komen goed met deze overeen. Net als in het theoretische profiel blijft de snelheid in de straal over een zekere afstand eerst vrijwel constant, waarna die geleidelijk afneemt met de afstand. Dat de straal niet geheel overeenkomt met de theorie, komt onder andere door:

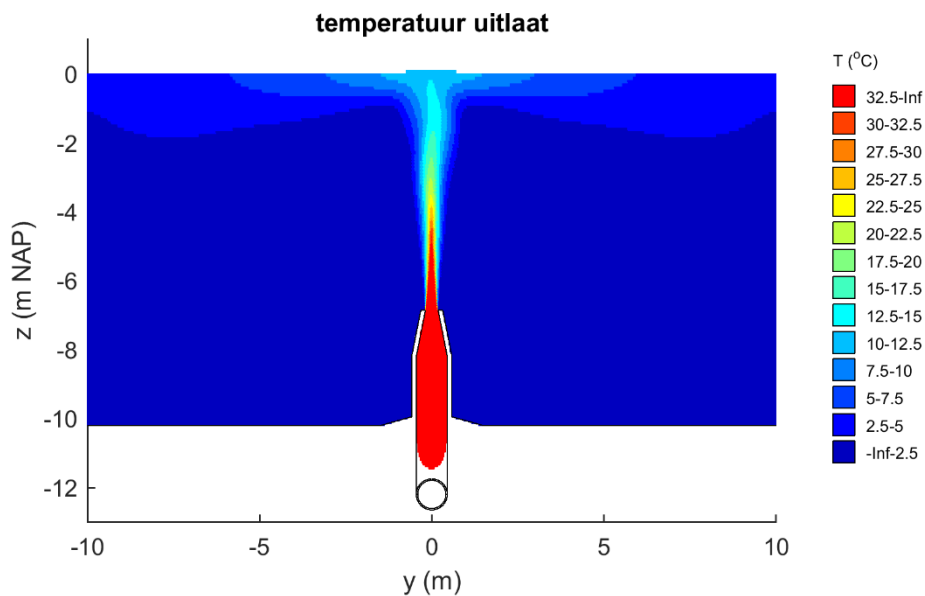
- de geometrie met een bocht net voor het rechte stuk en de duckbill valve die zorgt voor een versnelling van de stroming vlak voor de uitstroom;
- het dichtheidsverschil, waardoor het water een opwaartse versnelling ondervindt; en
- de aanwezigheid van het wateroppervlak, waardoor de straal wordt gebroken.

De goede overeenkomst met het theoretische verloop geeft in ieder geval vertrouwen dat het model de uitstroom correct berekent.

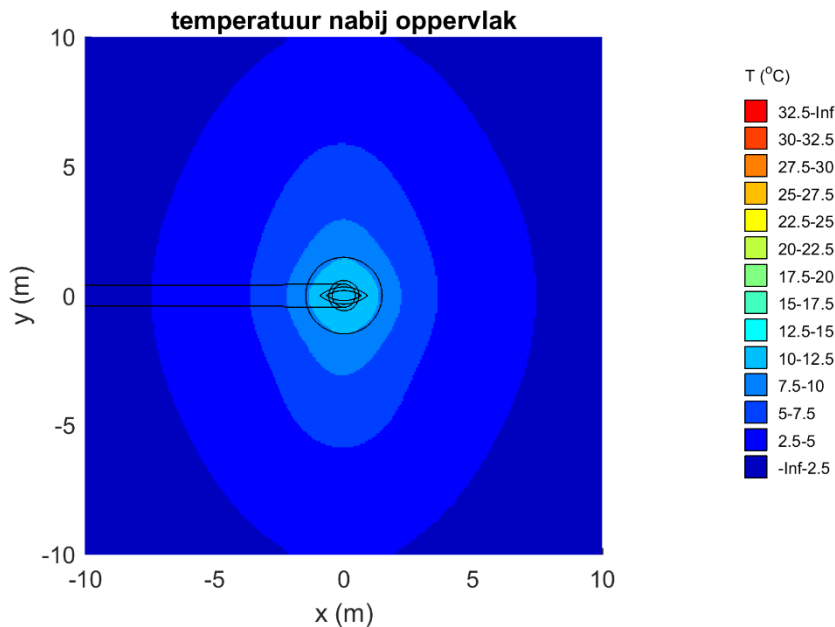
De temperatuur van de koelwaterlozing in dezelfde doorsnedes is in figuren 25 en 26 weergegeven, en de temperatuur in een horizontale doorsnede net onder het wateroppervlak is in figuur 27 weergegeven.



Figuur 25 Temperatuur in een doorsnede parallel aan de uitlaat.



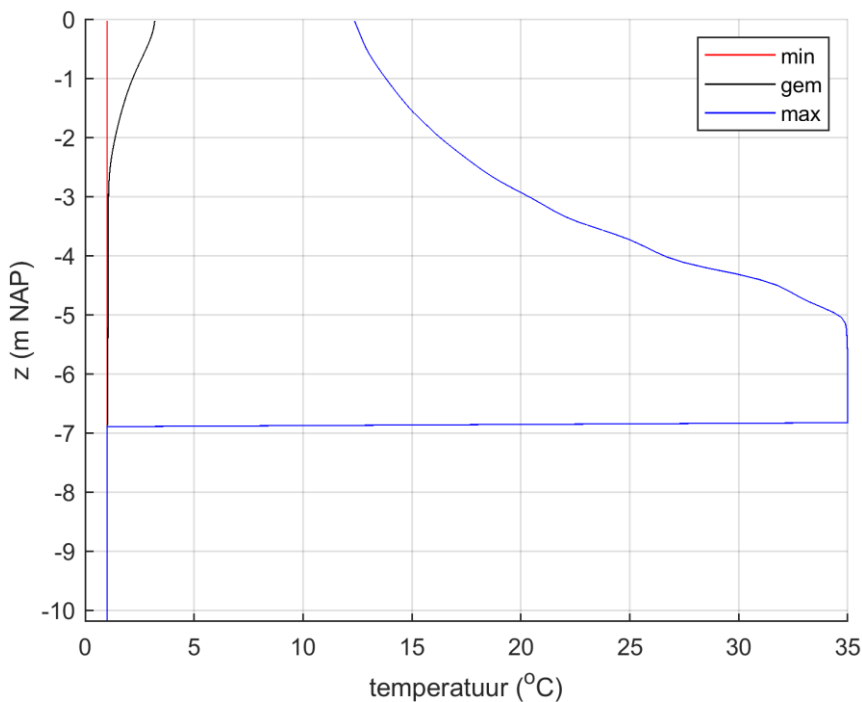
Figuur 26 Temperatuur in een doorsnede dwars op de uitlaat.



Figuur 27 Temperatuur in een doorsnede vlak onder het wateroppervlak.

Vanaf het moment dat de straal het wateroppervlak bereikt, spreidt het koelwater zich steeds verder ruimtelijk uit richting de randen van het domein, maar omdat de doorsnede steeds groter wordt, neemt de snelheid steeds verder af. Tegelijk mengt het koelwater ook steeds meer met het omringende water.

De minimale, maximale en gemiddelde temperatuur in horizontale doorsnedes over de verticaal van het model is in figuur 28 weergegeven. Hierbij is de temperatuur binnenin de constructie niet meegenomen, vandaar de sprong op $z = -6,863$ m NAP.

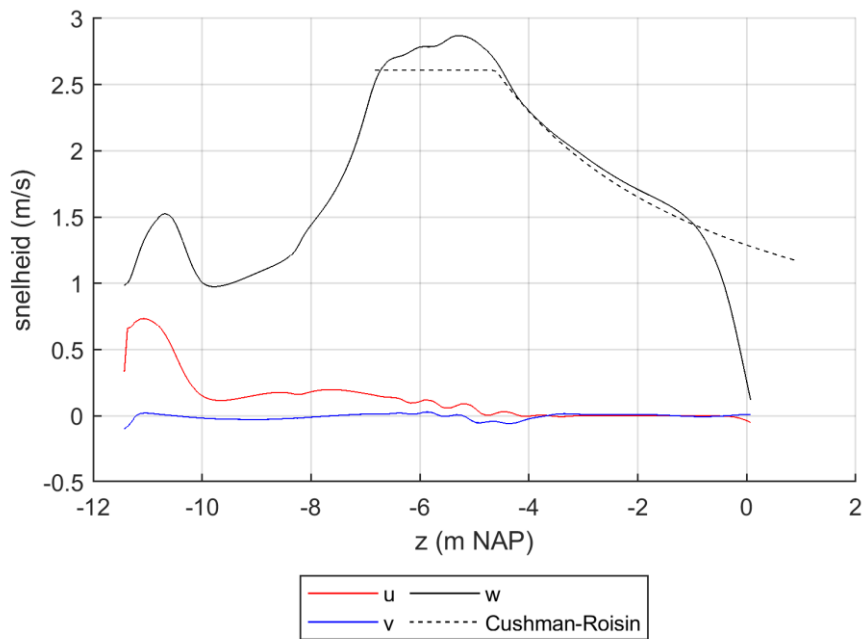


Figuur 28 Verdeling van de berekende minimale, gemiddelde en maximale temperatuur in het model over de verticaal.

Recht boven de straal komen de hoogste temperaturen voor, afnemend van 35 °C net boven de uitlaat tot 12,37 °C nabij het oppervlak. Dit profiel is in de laatste 10 sec vrijwel constant. De minimale temperatuur blijft 1 °C over de gehele verticaal, aangezien de koelwaterlozing de domeinranden nog niet heeft bereikt. De gemiddelde temperatuur loopt op van 1 °C vlak boven de uitstroomopening (het doorstroomoppervlak is klein ten opzichte van de 400 m² oppervlakte van het gehele domein dat de 35 °C van het koelwater nauwelijks tot een verhoging leidt) tot 3,19 °C nabij het oppervlak. Doordat er steeds meer koelwater aan het model wordt toegevoegd en de omvang van de temperatuurverhoging nabij het oppervlak blijft toenemen, loopt de gemiddelde temperatuur aan het oppervlak nog wel op in de tijd, maar steeds langzamer.

3.3.2 Kentering – zomer

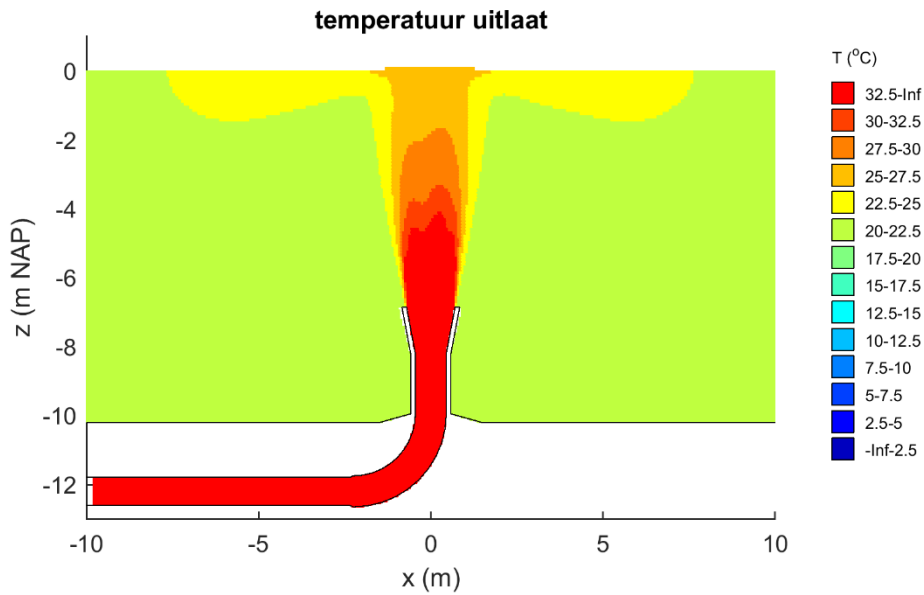
Het beeld van de stroomsnelheden in de pijp en straal verschillen nauwelijks van die voor de winterconditie. In figuur 29 zijn de snelheidscomponenten in de straal na 40 sec weergegeven.



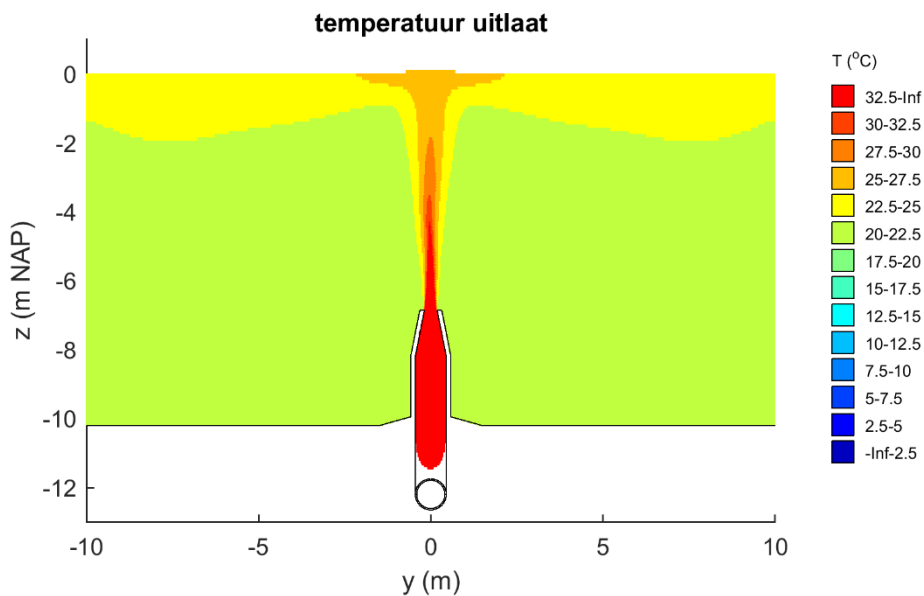
Figuur 29 Verloop van de drie snelheidscomponenten langs de as van de uitlaat en vergelijking met theoretisch profiel van Cushman-Roisin.

De toename van de snelheid in het gedeelte waar de snelheid volgens theorie constant is, is kleiner dan in de winter, maar de verschillen zijn klein en zijn niet constant over de tijd. Het is dan ook lastig om te concluderen dat dit het gevolg is van het kleinere dichtheidsverschil tussen het koelwater en de omgeving in de zomer vergeleken met de winter. Het kan ook liggen aan het fluctueren van de straal in de tijd.

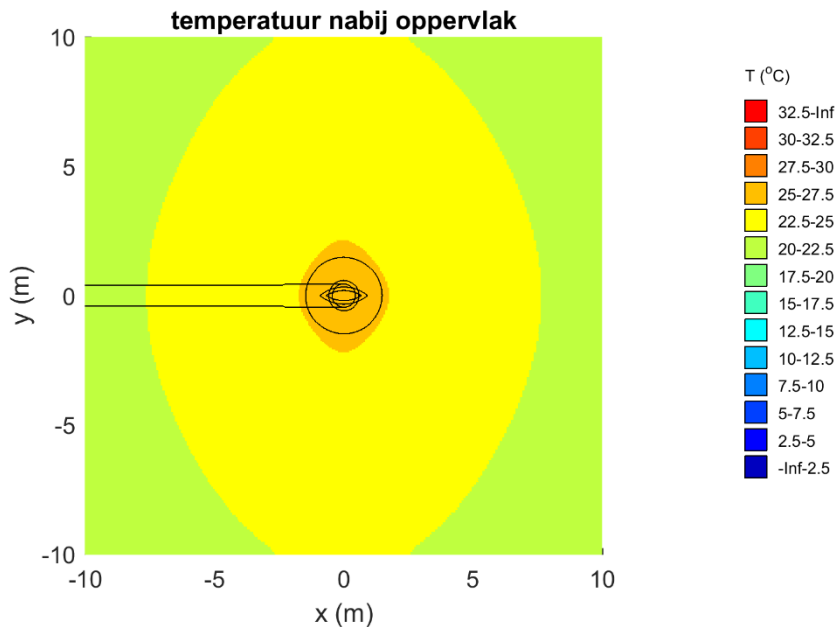
De temperatuurverdeling in de dwarsdoorsnedes is in figuren 30 tot en met 32 weergegeven en figuur 33 toont het minimale, maximale en gemiddelde temperatuurprofiel over de verticaal.



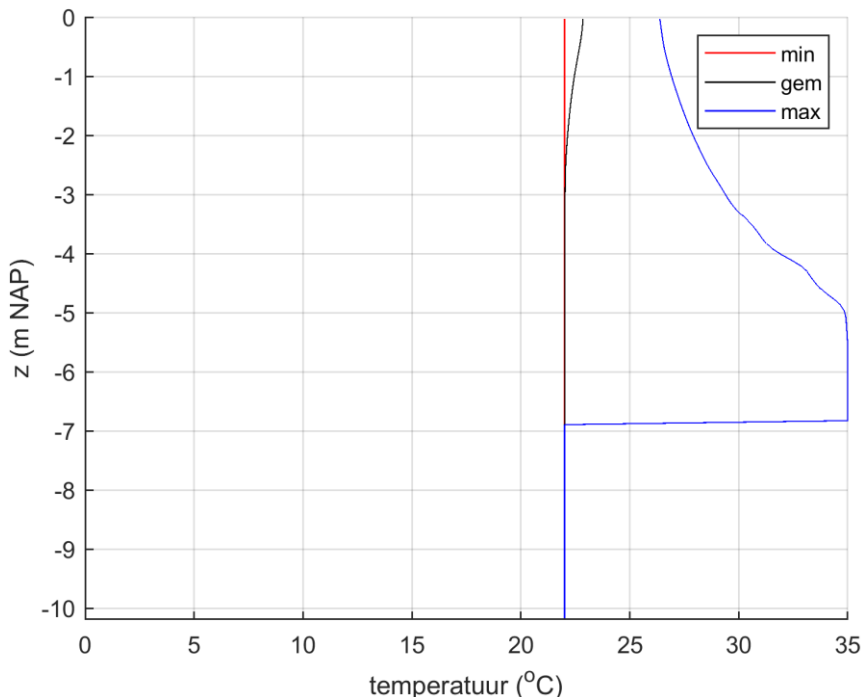
Figuur 30 Temperatuur in een doorsnede parallel aan de uitlaat.



Figuur 31 Temperatuur in een doorsnede dwars op de uitlaat.



Figuur 32 Temperatuur in een doorsnede vlak onder het wateroppervlak.



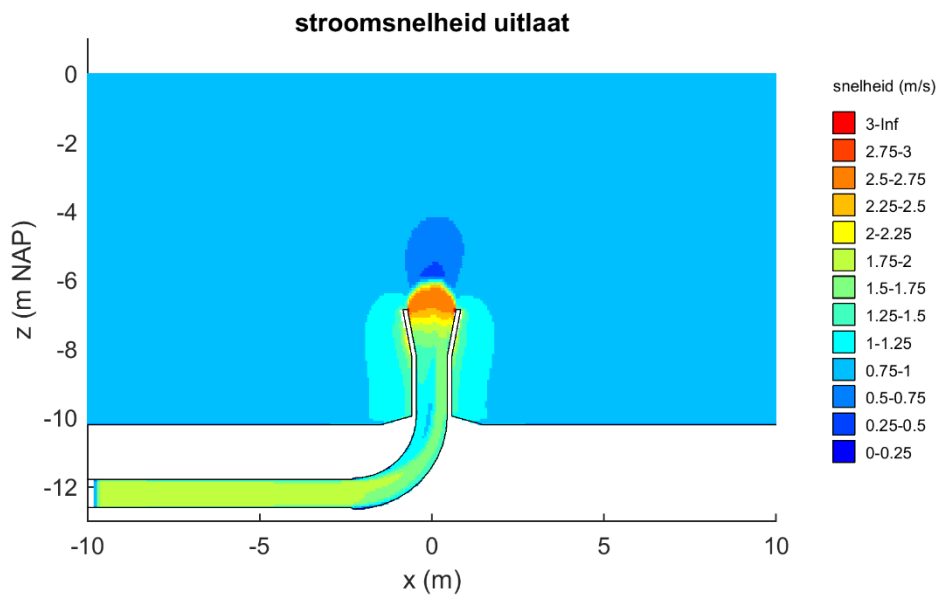
Figuur 33 Verdeling van de berekende minimale, gemiddelde en maximale temperatuur in het model over de verticaal.

De resultaten vertonen eenzelfde beeld als in de winter met lokaal hoge temperaturen recht boven de uitlaat en de verspreiding langs het wateroppervlak. De maximale temperatuur aan het oppervlak is met 26,38 °C bijna twee keer zo hoog als in de winter (12,37 °C), maar de stijging ten opzichte van de omgeving (4,38 °C) is ongeveer een derde van die in de winter (11,37 °C). Ook in dit geval loopt de gemiddelde temperatuur aan het oppervlak nog langzaam op

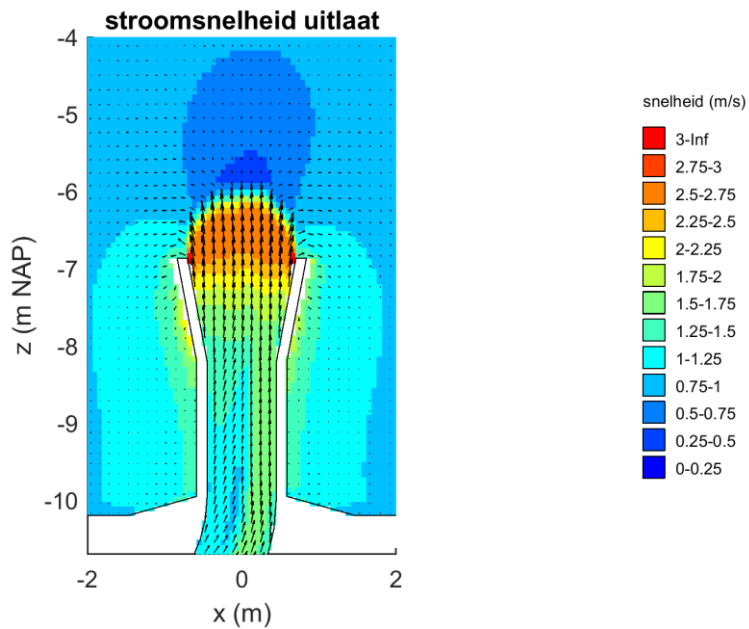
in de tijd doordat er steeds meer koelwater in het model wordt gepompt en de pluim aan het oppervlak zich nog steeds verder uitbreidt.

3.3.3 Vloed – winter

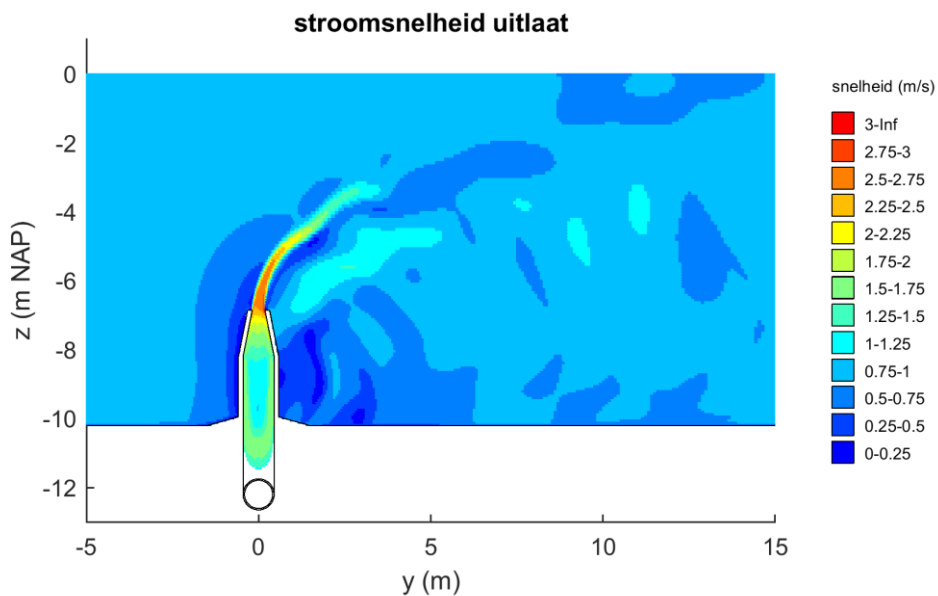
Het stroombeeld bij vloed verschilt wel duidelijk van dat bij kentering. Door de vloedstroom wordt de straal in de vloedrichting afgebogen, zoals in figuren 34 tot en met 37 te zien is voor het stroombeeld na 40 sec.



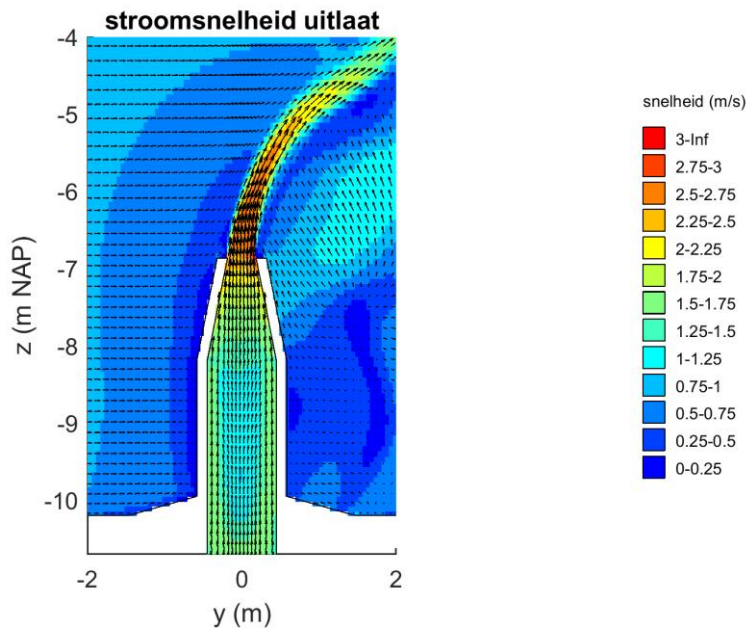
Figuur 34 Stroomsnelheid in een doorsnede parallel aan de uitlaat.



Figuur 35 Stroomsnelheid, detail uitlaat (vectorveld in beide richtingen met factor 2 uitgedund).

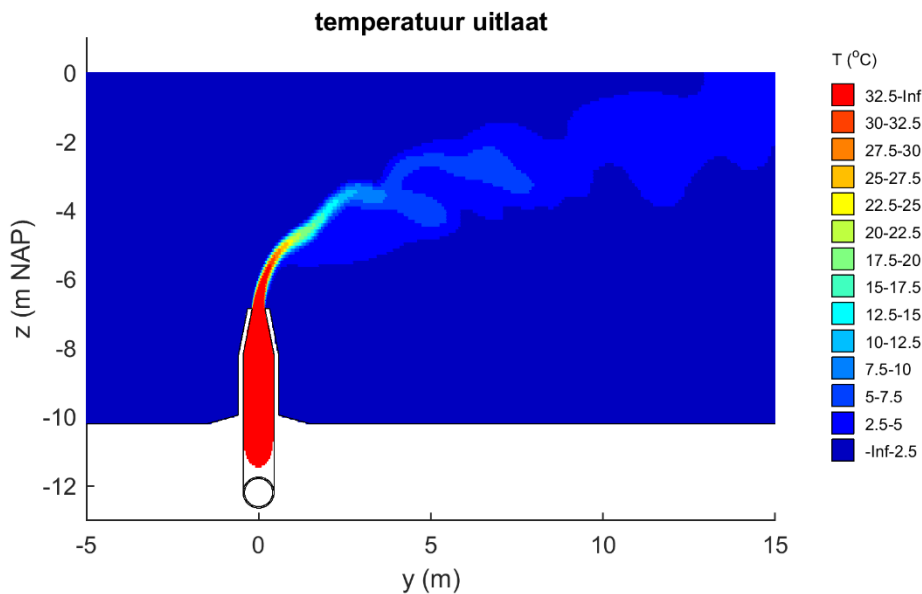


Figuur 36 Stroomsnelheid in een doorsnede dwars op de uitlaat.



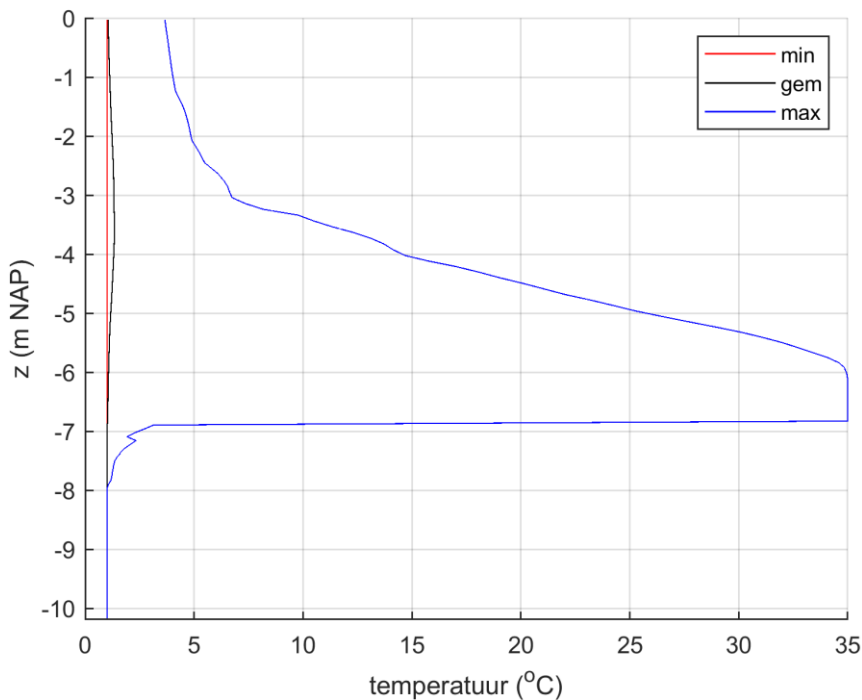
Figuur 37 Stroomsnelheid, detail uitlaat (vectorveld in beide richtingen met factor 2 uitgedund).

Doordat de straal wordt afgebogen vindt er ook veel meer menging plaats, zoals ook in de temperatuurverdeling te zien is in figuur 38.



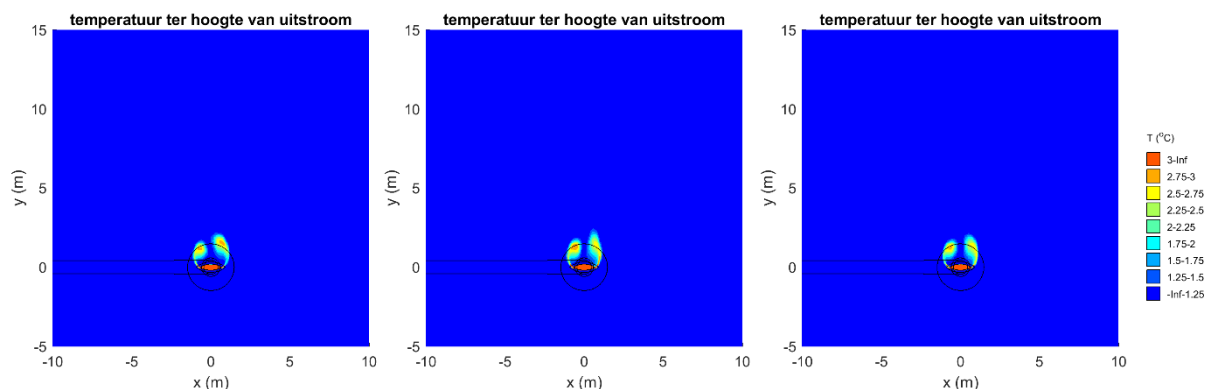
Figuur 38 Temperatuur in een doorsnede dwars op de uitlaat.

Figuur 39 toont de temperatuurprofielen over de verticaal. Het koelwater komt veel minder ver in de verticaal. Op circa 2,5 m boven de uitstroomopening is de maximale temperatuur tot onder de 20 °C gezakt, terwijl dat bij kentering op ruim 30 °C ligt. Nabij het oppervlak is er een beperkte temperatuurstijging waarneembaar tot 3,66 °C. Gemiddeld over het domein is de temperatuurstijging beperkt tot 0,34 °C halverwege de waterkolom. Doordat het warme water niet onder het wateroppervlak ophoopt, blijft daar de opwarming gemiddeld over het modeldomein minimaal. Wel moet opgemerkt worden dat de omvang van het domein nu 25% groter is door de uitbreiding met 5 m benedenstrooms, waardoor de gemiddelden automatisch lager uitvallen, maar de grotere menging is veel dominanter.



Figuur 39 Verdeling van de berekende minimale, gemiddelde en maximale temperatuur in het model over de verticaal.

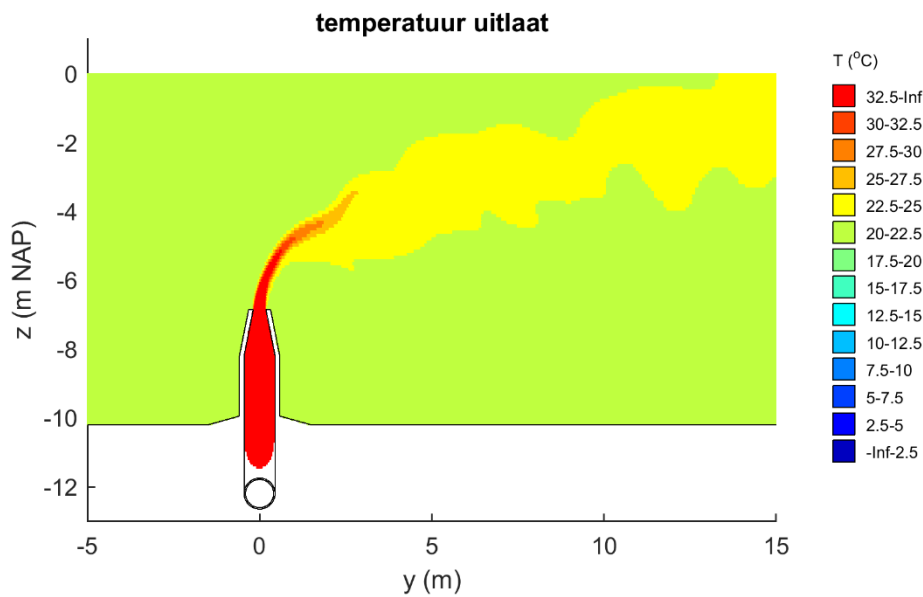
In tegentelling tot de resultaten bij kentering valt in het temperatuurverdeling in de doorsnede en ook in het profiel van de maximale temperatuur op dat er hier wel een toename van de temperatuur zichtbaar is onder het niveau van de uitstroomopening, maar die bereikt de bodem niet, ook niet op andere tijdstippen. De temperatuurverdeling in een horizontale doorsnede ter hoogte van de uitstroomopening op verschillende tijdstippen is te zien in figuur 40. Dit laat zien dat de koelwaterpluim niet stationair is, maar enigszins fluctueert in de tijd.



Figuur 40 Temperatuur in een doorsnede ter hoogte van de uitstroomopening, na 30 sec (links), 35 sec (midden) en 40 sec (rechts).

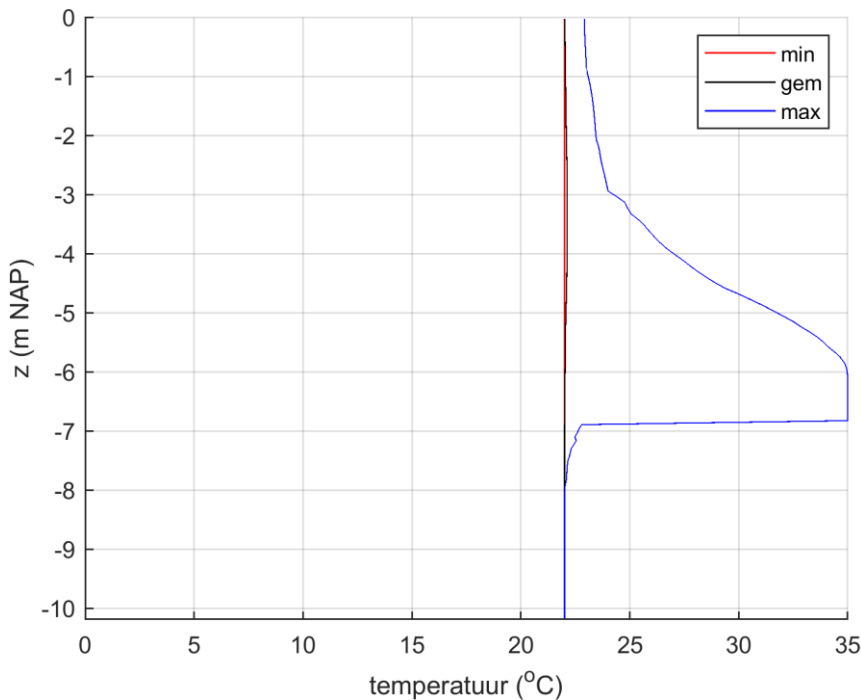
3.3.4 Vloed – zomer

Net als bij de vergelijking tussen winter en zomer bij kentering is ook nu in het stromingspatroon het effect van een kleiner temperatuurverschil ten opzichte van de winter vloed conditie niet duidelijk zichtbaar. De temperatuurverdeling in de dwarsdoorsnede parallel aan de vloedstroom is weergegeven in figuur 41.



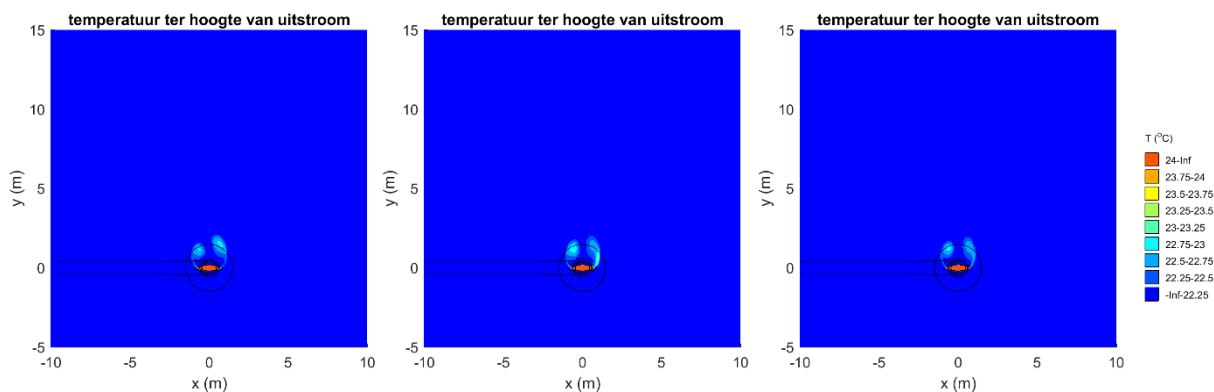
Figuur 41 Temperatuur in een doorsnede dwars op de uitlaat.

De verticale profielen zijn in figuur 42 weergegeven.



Figuur 42 Verdeling van de berekende minimale, gemiddelde en maximale temperatuur in het model over de verticaal.

Net als in de winter is de menging goed, met een kleine temperatuurstijging lokaal aan het oppervlak van minder dan 1 °C. Ook onder het niveau van de uitstroomopening is er weer een kleine toename zichtbaar, maar die bereikt de bodem ook nu niet. Zie ook de horizontale doorsnedes in figuur 43. Over het gehele domein gemiddeld bedraagt de temperatuurstijging 0,04 °C, ongeveer de helft minder dan in de winter.



Figuur 43 Temperatuur in een doorsnede ter hoogte van de uitstroomopening, na 30 sec (links), 35 sec (midden) en 40 sec (rechts).

3.3.5 Gevoeligheid debiet 1.162 m³/uur

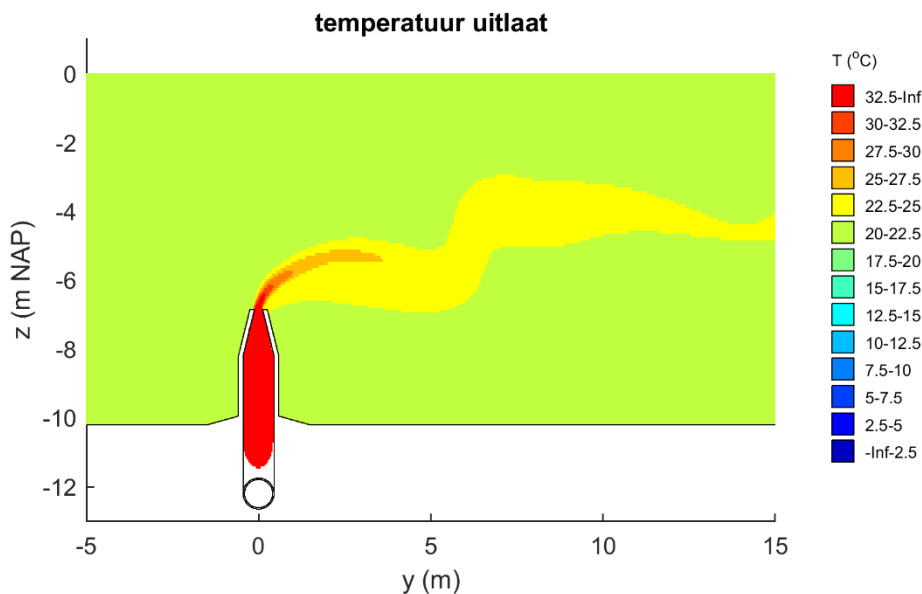
Zoals in paragraaf 2.1 benoemd, is het lozingsdebiet in de winter lager dan in de zomer.

In figuur 14 is de uitstroomsnelheid gegeven als functie van de stroomsnelheid in de aanvoerlijn. Een afvoerdebiet van 3.300 m³/uur correspondeert met een instroomsnelheid door de aanvoerleiding van 1,44 m/s en een uitstroomsnelheid van 2,61 m/s. Bij 1.162 m³/uur zijn deze waarden respectievelijk 0,51 m/s en 1,40 m/s.

Voor een gevoeligheidsberekening is gekeken naar het lagere lozingsdebiet in combinatie met een zomersituatie. De overweging om niet te kijken naar de wintersituatie is tweeledig:

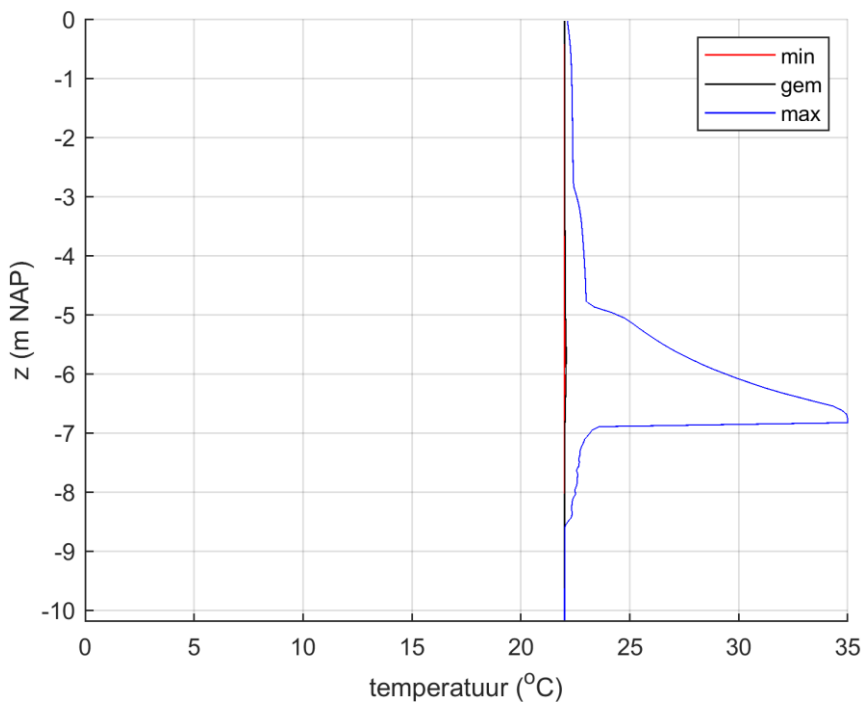
- In de zomer is de omgevingstemperatuur hoger, zodat er minder nodig is om een temperatuurstijging tot 25 °C te verkrijgen.
- Door het kleinere temperatuurverschil tussen koelwater en omgeving is de oprijvende kracht kleiner en dus potentieel een grotere kans dat de koelwaterpluim dichterbij de bodem komt.

In figuur 44 is de temperatuur in de doorsnede dwars op de uitlaat weergegeven. Het effect van de lagere uitstroomsnelheid is duidelijk zichtbaar doordat de straal minder ver richting oppervlak komt in vergelijking met het hogere lozingsdebiet (figuur 41).



Figuur 44 Temperatuur in een doorsnede dwars op de uitlaat.

De verticale profielen zijn in figuur 45 weergegeven.



Figuur 45 Verdeling van de berekende minimale, gemiddelde en maximale temperatuur in het model over de verticaal.

Vergeleken met figuur 42 is de beperktere omvang van de pluim ook in deze figuur duidelijk terug te zien. Wel dringt het koelwater in vergelijking met het hogere koelwaterdebiet verder door richting bodem, maar de 25 °C contour komt niet lager dan de uitstroomopening uit en raakt de bodem zeker niet.

Op basis van deze resultaten is eenvoudig te concluderen dat in de winter er ook geen risico is dat de koelwaterpluim de bodem niet raakt.

3.3.6 Overzichtstabel

De verdeling van de berekende minimale, gemiddelde en maximale temperatuur over de verticaal zoals die voor de verschillende condities hiervoor grafisch zijn weergegeven, is in tabelvorm in tabel 1 samengevat. Hierin zijn zowel de absolute temperatuur als de stijging ten opzichte van de achtergrondtemperatuur in de tabel opgenomen. Tevens zijn de verschillende profielen ook over de verticaal gemiddeld.

Tabel 1 Overzicht van de verdeling van de temperatuur in de verticaal en relatief ten opzichte van de achtergrondtemperatuur voor de verschillende scenario's.

seizoen	niveau		kentering			vloed			
			minimum	gemiddeld	maximaal	minimum	gemiddeld	maximaal	
winter	oppervlak	absoluut	1.00	3.19	12.37	1.00	1.06	3.66	
		relatief		2.19	11.37		0.06	2.66	
	niveau uitlaat	absoluut	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	3.15	
		relatief		0.00	0.00		0.00	2.15	
	bodem	absoluut	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	
		relatief		0.00	0.00		0.00	0.00	
	gemiddeld verticaal	absoluut	1.00	1.25	15.21	1.00	1.11	10.35	
		relatief		0.25	14.21		0.11	9.35	
	zomer	oppervlak	absoluut	22.00	22.85	26.38	22.00	22.02	22.91
			relatief		0.85	4.38		0.02	0.91
niveau uitlaat		absoluut	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.78	
		relatief		0.00	0.00		0.00	0.78	
bodem		absoluut	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	22.00	
		relatief		0.00	0.00		0.00	0.00	
gemiddeld verticaal		absoluut	22.00	22.09	27.45	22.00	22.04	25.54	
		relatief		0.09	5.45		0.04	3.54	

De zeer geringe temperatuurverhoging in het totale model geeft ook aan dat het niet relevant is om het effect van de huidige HFR-lozing (in de overgangsfase) op de omgevingstemperatuur mee te nemen.

3.4 Stap 4: Kuststrook met lokale verfijning voor overgangsfase en productiefase

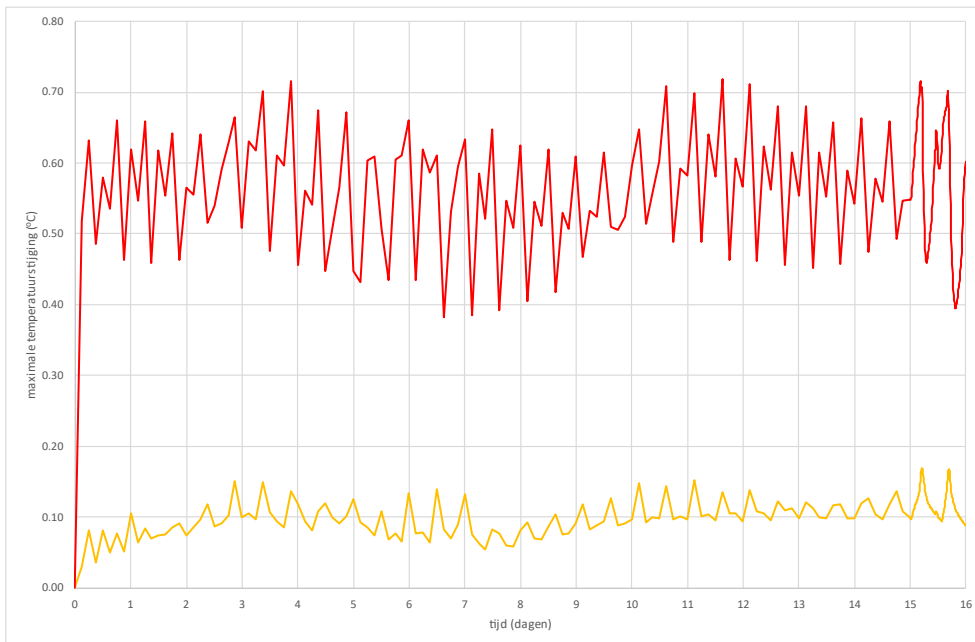
In de Delft3D-berekeningen starten de koelwaterlozing(en) na 5 dagen inspelen van de waterbeweging. De koelwaterlozingen zijn aan de bodem opgelegd. Na afloop van de 15 dagen is er nog een dag doorgerekend, waarbij de uitvoer frequenter in de tijd is weggeschreven om in meer detail naar de resultaten te kunnen kijken. Voor PALLAS is zowel voor het winter- als zomer-scenario uitgegaan van de maximale lozing van 3300 m³/uur. Voor een wintersituatie waarbij de lozingsdebieten lager zijn, is dit een conservatieve aanpak.

De resultaten worden in dit memo gepresenteerd als de temperatuurstijging ten opzichte van de referentieberekening zonder lozingen, om op die manier het effect van de lozing(en) zichtbaar te maken.

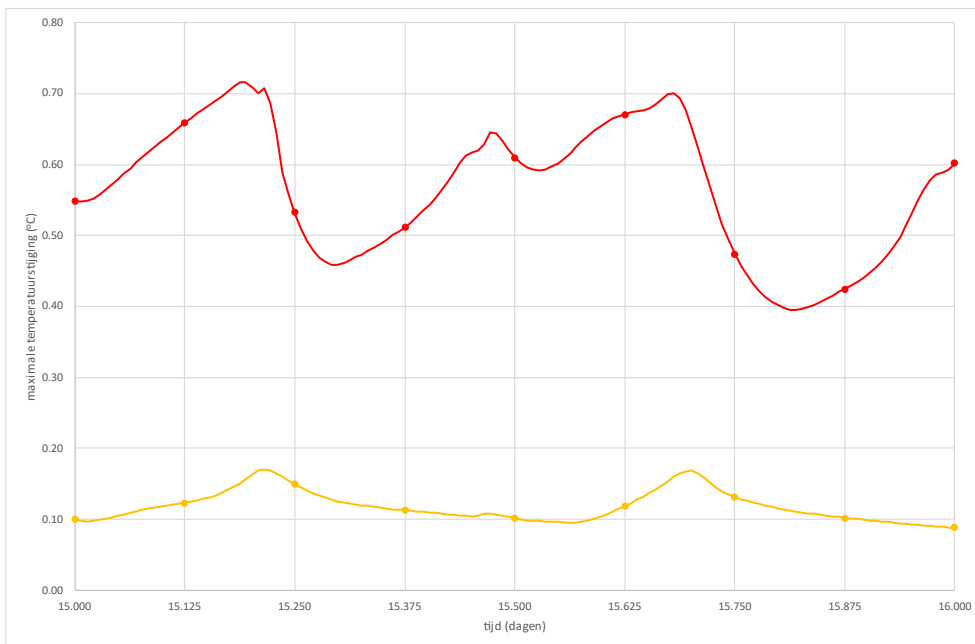
In de volgende vier sub-paragrafen worden de resultaten per scenario besproken.

3.4.1 Overgangsfase – winter

De maximale opwarming ten opzichte van de achtergrondtemperatuur in het gehele model in de tijd is weergegeven in figuur 46 en 47. De eerste figuur toont dit voor de gehele periode van 16 dagen, waarbij de eerste 15 dagen resultaten elke 3 uur zijn weggeschreven en de laatste dag elke 10 minuten. De resultaten voor de laatste dag wordt in meer detail in figuur 47 getoond.



Figuur 46 Maximale opwarming aan het oppervlak (oranje) en nabij de bodem (rood).

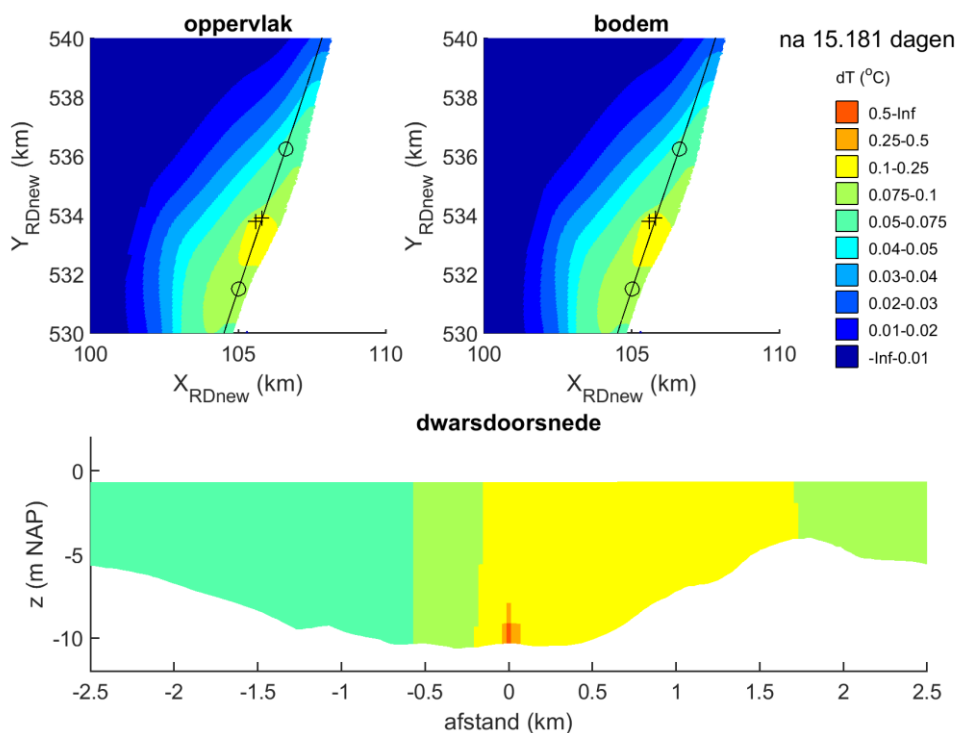


Figuur 47 Maximale opwarming aan het oppervlak (oranje) en nabij de bodem (rood), detail van dag 15.

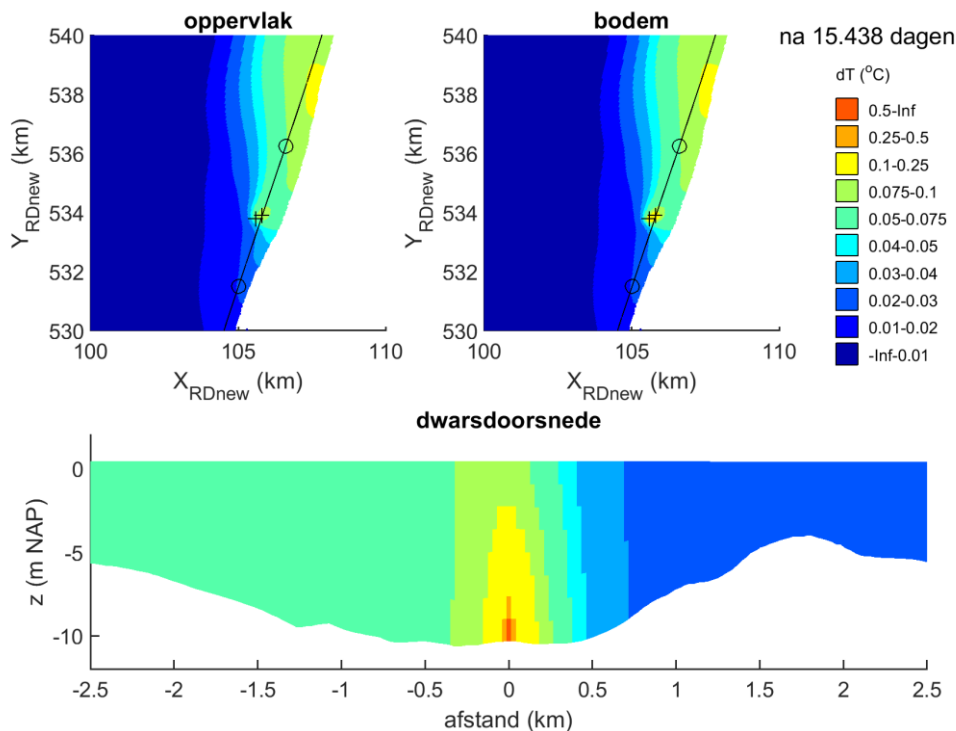
Op basis van deze figuren wordt duidelijk dat er zich al vrij snel een dynamisch evenwicht instelt, die schommelt door zowel het getij als de doortij-springtij cycli, maar al wel snel naar een evenwicht gaat en de simulatieduur van 16 dagen dus voldoende is. De figuur van de laatste dag toont aan dat een deel van de variaties over de tijd gemist wordt door het uitvoer-interval van 3 uur (zie bolletjes), maar dat de verschillen minder dan 0,1 °C bedragen. De hogere temperatuurstijging nabij de bodem is het gevolg van het feit dat de lozing in het model nabij de bodem plaatsvindt. Het grote verschil ten opzichte van de FLOW-3D is dat in Delft3D de lozing plaatsvindt in een rekencel van 27,5 m bij 27,5 m (zie paragraaf 2.4) waardoor het koelwater al direct goed gemengd wordt. Een dergelijke geringe stijging is

consistent met de resultaten van de CFD-studie waarbij de temperatuur gemiddeld is over de horizontaal (van 20 m bij 20 m) en verticaal van het FLOW-3D rekendomein.

Om de ruimtelijke verspreiding van de koelwaterlozing te laten zien, zijn in figuur 48 en 49 de temperatuurverhoging ten opzichte van de situatie zonder koelwaterlozingen gepresenteerd voor de kentering rond laag water en de kentering rond hoog water respectievelijk (zie ook figuur 12). Elk figuur toont het effect aan het oppervlak en nabij de bodem en in een langsdoorsnede die door het PALLAS lozingspunt is getrokken. De lijn waarlangs deze doorsnede is getrokken, is in de twee andere figuren aangegeven. De twee cirkels markeren de afstand in de onderste figuur; het noordelijke bolletje valt links in de onderste figuur.



Figuur 48 Temperatuurverhoging aan het oppervlak (linksboven) en nabij de bodem (rechtsboven) en in de verticale doorsnede door het lozingspunt (onder) tijdens laag water kentering.



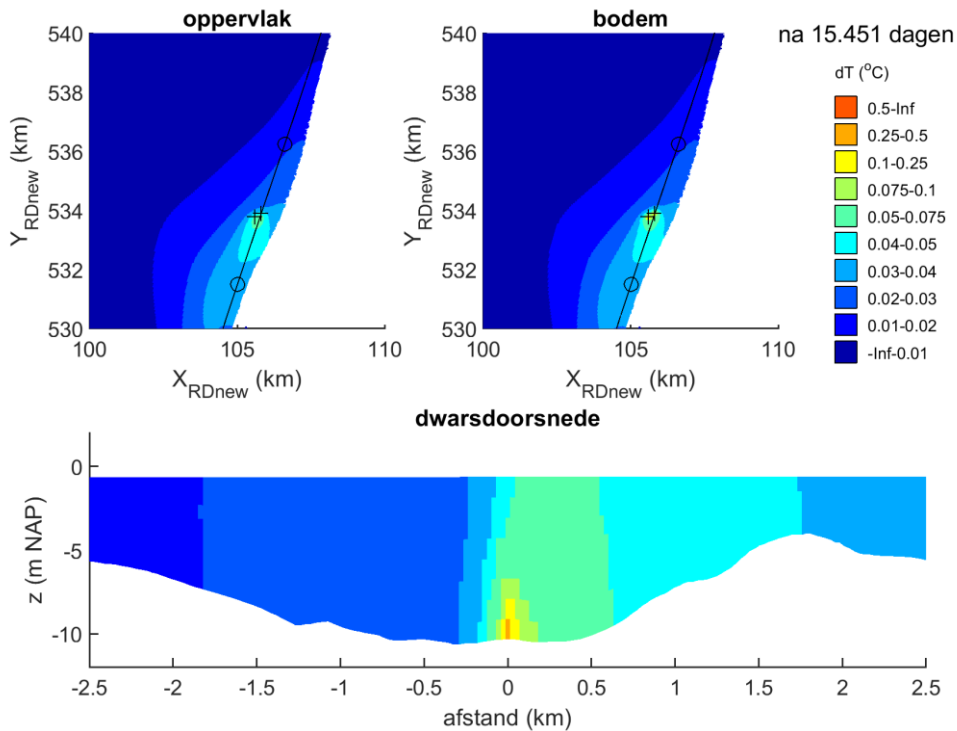
Figuur 49 Temperatuurverhoging aan het oppervlak (linksboven) en nabij de bodem (rechtsboven) en in de verticale doorsnede door het lozingspunt (onder) tijdens hoog water kentering.

Deze figuren laten duidelijk zien hoe het water rond het lozingspunt wordt opgewarmd door het koelwater tijdens kentering. Lokaal aan de bodem bij het lozingspunt treden de grootste temperatuurstijgingen op, maar verder zijn de verschillen vrijwel uniform in de verticaal.

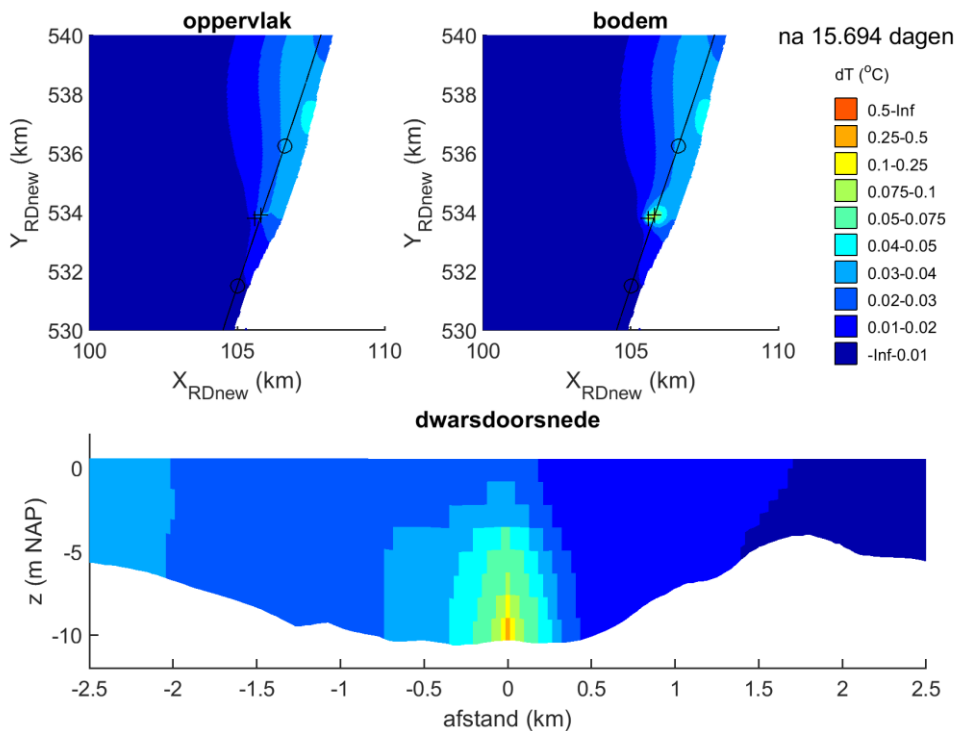
Het opgewarmde water wordt tijdens de vloed langs de Nederlandse kust in noordwaartse richting verplaatst en intussen blijft het lozingspunt warm water toevoegen aan het systeem. Tegelijkertijd mengt het water verder en koelt het water af door de uitwisseling met de atmosfeer. Na de vloed stroomt het water in zuidelijke richting terug langs de kust, waarbij het ook blijft opwarmen door de koelwaterlozing en afkoelen door menging en uitwisseling met de atmosfeer. Op die manier ontstaat er een dynamisch evenwicht, waarbij gedurende de 15 dagen durende berekening de temperatuur aan het oppervlak in het gehele model niet verder opwarmt dan 0,20 °C. Bij doortij zijn de verschillen het grootst. De getijstroomsnelheden zijn dan lager waardoor het koelwater een kleiner volume aan zeewater opwarmt.

3.4.2 Overgangsfase – zomer

Vergelijkbare figuren voor de temperatuurverhoging in de zomer zijn gepresenteerd in figuren 50 en 51.



Figuur 50 Temperatuurverhoging aan het oppervlak (linksboven) en nabij de bodem (rechtsboven) en in de verticale doorsnede door het lozingspunt (onder) tijdens laag water kentering.

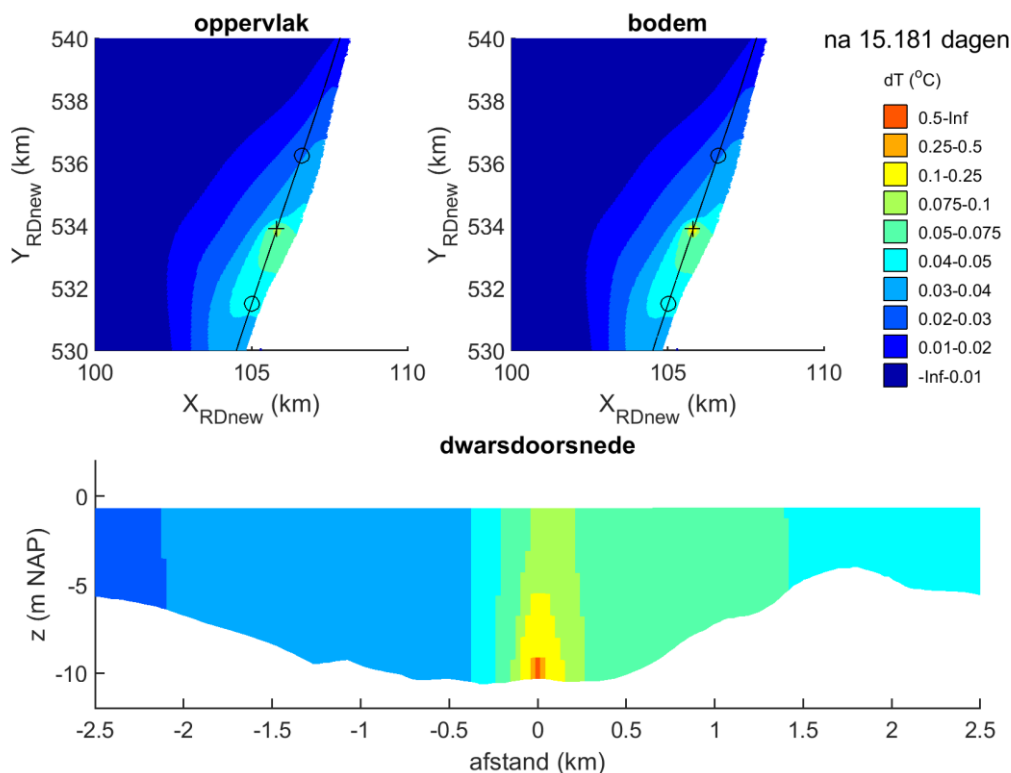


Figuur 51 Temperatuurverhoging aan het oppervlak (linksboven) en nabij de bodem (rechtsboven) en in de verticale doorsnede door het lozingspunt (onder) tijdens hoog water kentering.

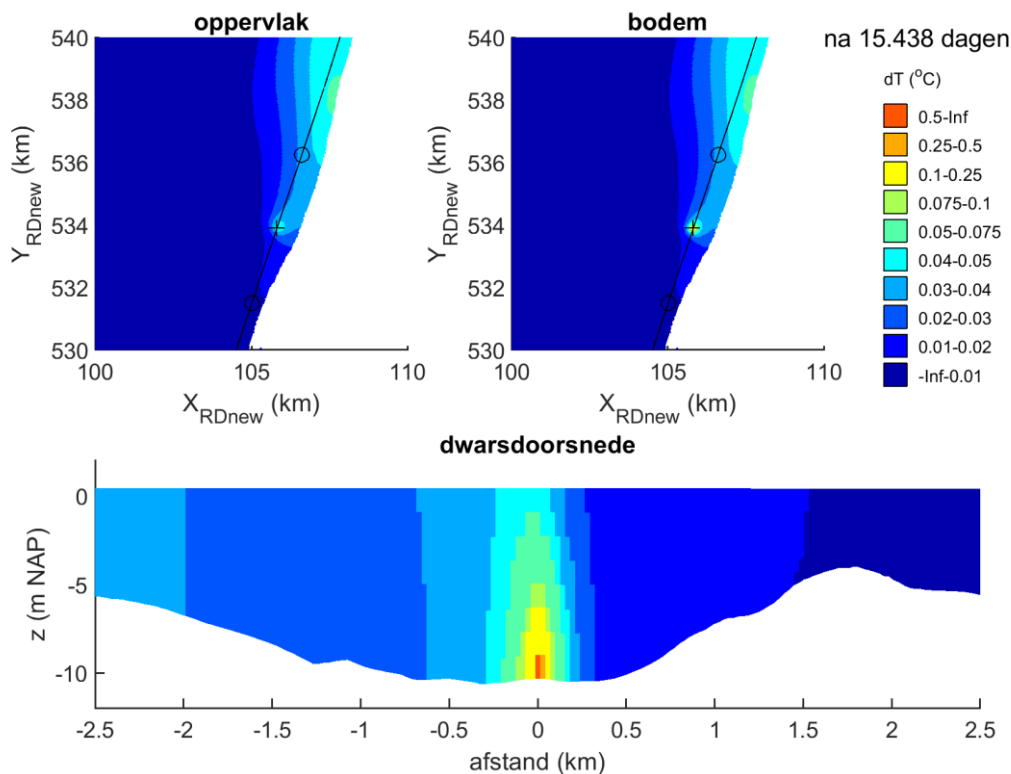
In overeenstemming met de resultaten van de FLOW-3D-studie liggen de temperatuurstijgingen ongeveer een factor 2 lager vergeleken met in de winter en daardoor is ook de omvang van het gebied met temperatuurstijgingen sterk gereduceerd. De maximale opwarming in het gebied blijft ruim onder de 0,10 °C aan het oppervlak.

3.4.3 Productiefase – winter

In de productiefase is de huidige koelwaterlozing buiten gebruik en alleen die van PALLAS in gebruik. De totale hoeveelheid koelwater wat geloosd wordt, wordt daarmee met ongeveer 45% gereduceerd (in de beschouwde situatie waarbij 3300 m³/uur wordt geloosd). De resultaten rond de twee momenten van kentering zijn weergegeven in figuren 52 en 53.



Figuur 52 Temperatuurverhoging aan het oppervlak (linksboven) en nabij de bodem (rechtsboven) en in de verticale doorsnede door het lozingspunt (onder) tijdens laag water kentering.

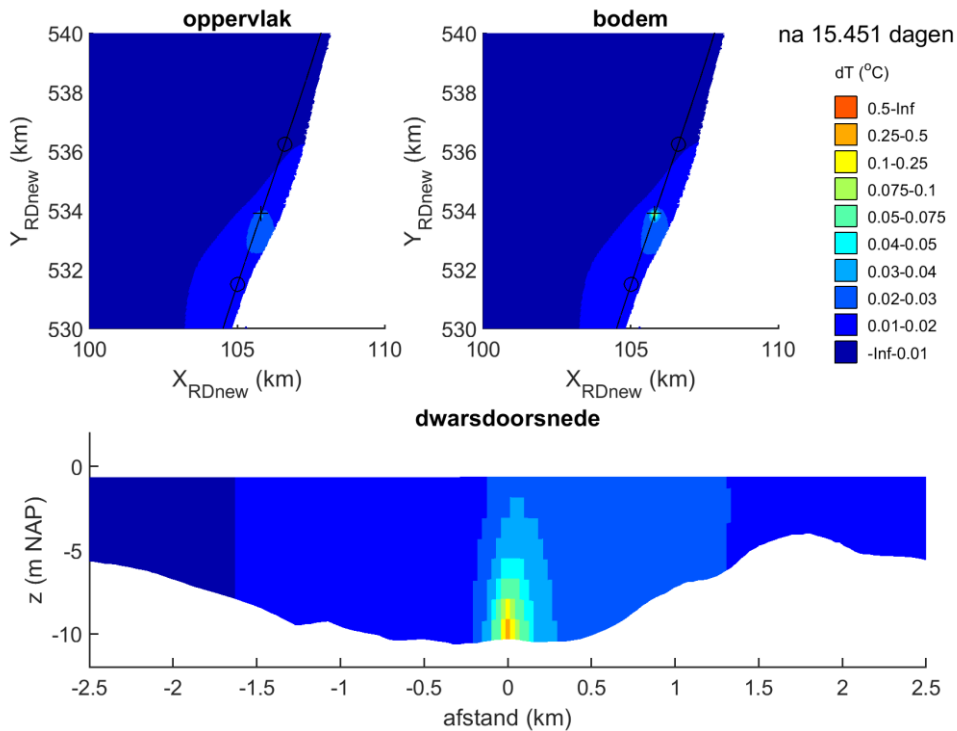


Figuur 53 Temperatuurverhoging aan het oppervlak (linksboven) en nabij de bodem (rechtsboven) en in de verticale doorsnede door het lozingspunt (onder) tijdens hoog water kentering.

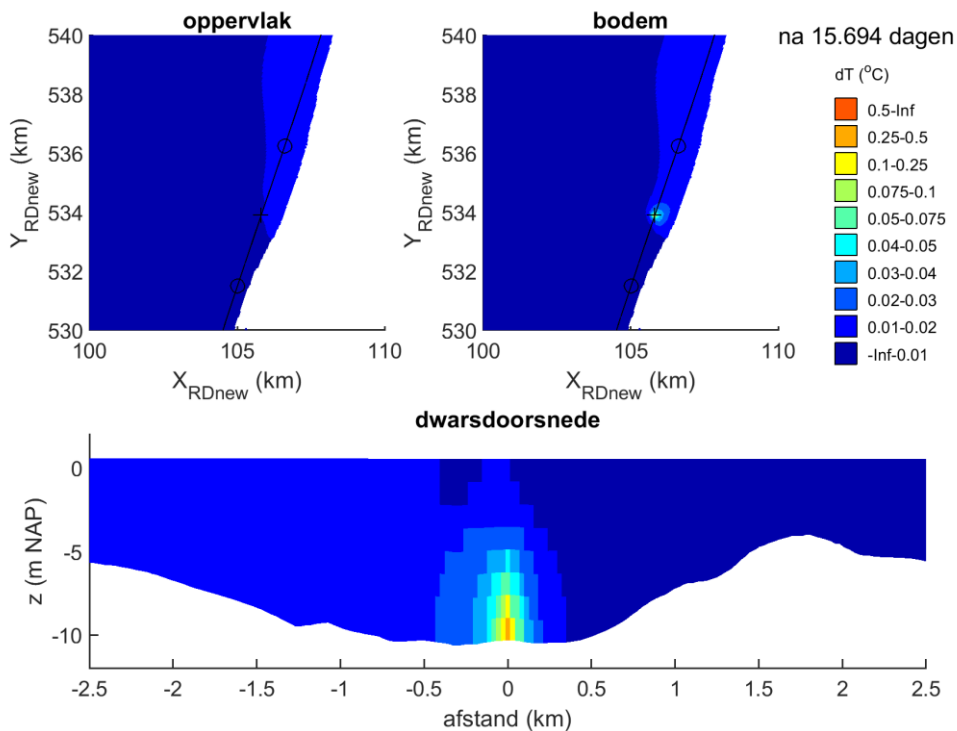
Door de reductie van de totale hoeveelheid geloosd koelwater nemen ook de temperatuurverschillen en de omvang van het gebied waar een zekere temperatuurstijging optreedt, sterk af. De maximale berekende temperatuurtoename aan het oppervlak ligt met 0,10 °C nog steeds erg laag. In het geval van een (realistische) koelwaterlozing van 1.162 m³/uur zal dat alleen maar minder zijn.

3.4.4 Productiefase – zomer

Ten slotte zijn de vergelijkbare figuren voor de temperatuurverhoging in de zomer gepresenteerd in figuren 54 en 55.



Figuur 54 Temperatuurverhoging aan het oppervlak (linksboven) en nabij de bodem (rechtsboven) en in de verticale doorsnede door het lozingspunt (onder) tijdens laag water kentering.



Figuur 55 Temperatuurverhoging aan het oppervlak (linksboven) en nabij de bodem (rechtsboven) en in de verticale doorsnede door het lozingspunt (onder) tijdens hoog water kentering.

Zoals verwacht zijn de effecten nu nog verder gereduceerd ten opzichte van de eerdere berekeningen (winter en/of overgangsfase). De maximale stijging in het modeldomein aan het oppervlak is met 0,05 °C zeer gering.

4 Conclusies en aanbevelingen

In dit memo is een beschrijving gegeven van de koelwaterstudie die ten behoeve van de nieuwe PALLAS-reactor is uitgevoerd. Door middel van een 4-stappen-modelstudie is aangetoond dat de geplande reactor aan de normen voor koelwater [NBW-beoordelingssystematiek voor koelwaterlozingen] voldoet. De conclusies en aanbevelingen zijn per stap nader toegelicht.

Stap 1: Validatie Delft3D Kuststrook model

- Het Kuststrook model is goed in staat om de watertemperatuur voor de Nederlandse kust te modelleren
- Modelresultaten zouden waarschijnlijk verbeteren indien de temperatuur op de open rand bekend zou zijn. (In een eerdere studie is wel eens gekeken naar de mogelijkheid om de watertemperatuur af te leiden op basis van satellietgegevens, maar die bleken erg onbetrouwbaar.)
- Mogelijk zou door de metingen van K13a Platform en Europlatform op een slimme manier te combineren nog een verbeteringslag kunnen worden bereikt, maar omdat dit voor deze studie niet relevant is en relatief veel tijd vergt, is daar in deze studie niet verder naar gekeken.

Stap 2: Kuststrook met lokale verfijning voor omgevingscondities en referentiesituatie

- Het getij wordt gekarakteriseerd door een korte vloedperiode met relatief hoge stroomsnelheden in noordnoordoostelijke richting en een langere ebperiode met lagere stroomsnelheden in zuidzuidwestelijke richting.
- Ten behoeve van de CFD-studie is besloten dat de maximale vloedstroom (0,85 m/s) en de kentering (0 m/s) een goed beeld geven van de variatie in stroomsnelheden.
- De saliniteit nabij de koelwateruitstroom ligt rond 32,5 PSU (of 32,5 kg/m³).

Stap 3: Lokale menging (FLOW-3D)

- Bij kentering stroomt het koelwater recht uit de uitlaat omhoog en verspreidt zich horizontaal langs het wateroppervlak zijwaarts.
- Bij vloed buigt de straal met de vloedstroom mee opzij, waarbij het koelwater zich goed mengt met het omgevingswater.
- Bij kentering bedraagt de temperatuurstijging aan het oppervlak maximaal 11,37 °C (winter), terwijl dat in de zomer maximaal 4,38 °C is, waarmee in het laatste geval de temperatuur aan het oppervlak maximaal 26,38 °C bedraagt.
- Bij vloed liggen de oppervlaktetemperaturen in de winter en de zomer op respectievelijk 3,66 °C (+2,66 °C ten opzichte van de achtergrondtemperatuur) en 22,91 °C (+0,91 °C).
- Ter hoogte van de uitlaat is alleen bij vloed een temperatuurverhoging benedenstrooms van de uitlaat zichtbaar. In de winter is de maximale stijging 2,15 °C, terwijl dat in de zomer 0,78 °C is. Dit is zeer lokaal en rijkt niet verder dan 5 m van de uitlaatorening. De gemiddelde stijging over een groter gebied (modeldomein) is echter verwaarloosbaar.
- In geen enkel scenario is er een stijging van de temperatuur aan de bodem zichtbaar.
- De gemiddelde temperatuurstijging in het gehele modeldomein is in alle gevallen minder dan 0,25 °C, tussen de 0,25 °C (kentering, winter) en 0,04 °C (vloed, zomer).

Stap 4: Grootschalige verspreiding (Delft3D studie)

- De lokale menging rondom het lozingspunt wordt in het Delft3D model overschat.
- Doordat het totale lozingsdebiet en -temperatuur wel correct zijn, is het model wel goed in staat om te beschrijven hoe de koelwaterlozing zich verspreidt langs de kust.
- De maximale temperatuurstijging ten opzichte van een situatie zonder koelwaterlozingen is marginaal. In de winter is die met het hoge lozingsdebiet het grootst. Maar met orde 0,17 °C in de overgangsfase en 0,10 °C in de productiefase blijft deze ver onder de norm. Met het lagere winterlozingsdebiet zal dit nog verder afnemen. In de zomer is de maximale temperatuurstijging met respectievelijk 0,06 °C en 0,05 °C nog kleiner.

Resultaten in relatie tot de criteria voor koelwaterlozingen:

- Het koelwater van de voorziene PALLAS-reactor voldoet aan de koelwatertemperatuurnormen.

- De mengzone (zeewatertemperatuur hoger dan 25 °C) raakt in geen enkel scenario de bodem (FLOW-3D).
- De watertemperatuuroename blijft onder de norm van 2 °C, daarnaast blijft de temperatuur onder het absoluut maximum van 25 °C. Weliswaar neemt zeer lokaal nabij de uitlaat de watertemperatuur significant toe, maar dit is beperkt tot een relatief klein gebied en bij lage stroomsnelheden rond kentering (FLOW-3D). Over een groter gebied en langere tijdschalen is de temperatuurstijging minder dan 0,1 °C (Delft3D), ruim minder dan de 2 °C volgens de norm.

COLOFON

ACHTERGRONDRAPPORT OPPERVLAKTEWATER
PROJECT-MER PALLAS

KLANT

[REDACTED]

AUTEUR

[REDACTED]

PROJECTNUMMER

C05011.000642

ONZE REFERENTIE

D10008766:238

DATUM

23 mei 2022

STATUS

Definitief

GECONTROLEERD DOOR

[REDACTED]

VRIJGEGEVEN DOOR

[REDACTED]

Arcadis Nederland B.V.

[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]
[REDACTED]

www.arcadis.com