

1839-51
bylage 15

Opdrachtgever:

Royal Haskoning

Beoordeling koelwaterlozing AVR- Brielselaan

Rapport

WL | delft hydraulics

April 2008

Opdrachtgever:

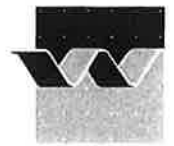
Royal Haskoning

Beoordeling koelwaterlozing AVR- Brielselaan

Menno Genseberger en Frank Kleissen

Rapport

April 2008



Opdrachtgever:	Royal Haskoning				
Titel:	Beoordeling koelwaterlozing AVR-Brielselaan				
Samenvatting:					
<p>AVR Afvalverwerking BV is van plan om de afvalverbrandingsinstallatie AVR-Brielselaan in Rotterdam te moderniseren in het kader van het voorgenomen besluit om de installatie tot het jaar 2030 in bedrijf te houden. Voor de renovatie van de huidige installatie is een revisievergunning voor Wvo/Wwh noodzakelijk. Royal Haskoning verzorgt in opdracht van AVR de revisievergunningaanvragen voor de renovatie van AVR-Brielselaan. Royal Haskoning heeft het WL gevraagd voor het uitvoeren van een koelwaterstudie waarbij in een 3-dimensionaal model verschillende koelwaterkringlopen worden uitgewerkt. Dat wil zeggen, de huidige situatie (het nulalternatief), de voorgenomen activiteit en een worst-case alternatief.</p> <p>Een 3-dimensionaal hydrodynamisch model is opgezet voor de Maashaven en een gedeelte van de Nieuwe Maas. Uit de model studie zijn de volgende conclusies getrokken:</p> <ul style="list-style-type: none">• de diverse gemodelleerde lozingsscenario's, met een warmtelast van respectievelijk 97MW en 120MW (worst-case) en tijdens turbine-uitval, zonder eigen energieverbruik, met 158MW, laten een warmtepluim zien die zich beperkt tot de Maashaven zonder een significant effect op de temperatuur in de Nieuwe Maas;• voor een verticale dwarsdoorsnede die loodrecht vanuit het lozingspunt wordt gelegd is het percentage van de natte doorsnede, waarin de temperatuurverhoging meer dan 1 °C is, gemiddeld 20,8% (voor de hoogste warmtelast die in deze studie is onderzocht). Dit betekent dat de zogenaamde 25% norm in het kader van de CIW koelwaterrichtlijn bij een achtergrond van 27°C niet wordt overschreden.• de verhoging van de achtergrondtemperatuur in de Maashaven is, bij een maximale warmtelast van 158 MW, ongeveer 1,2°C. Wanneer de achtergrondtemperatuur minder dan 26,8°C is, voldoet de lozing aan de CIW koelwaterrichtlijn.• de huidige en toekomstige lozing voldoen aan de criteria van de CIW richtlijnen, bij een achtergrondtemperatuur die 27°C of lager is.					
Referenties:		Offerte aanvraag dd 20-12-2006, offerte van januari 2007 (MCM-22944/Z4337/AvD), opdrachtbevestiging van 1 maart 2007.			
Ver	Auteur	Datum	Opmerk.	Review	Goedkeuring
2.0	M.Gensebeger	2-7-2007		T.Minns	T.Schilperoort
	F.M.Kleissen				
2.1	F.M.Kleissen	24-7-2007		L. Arentz	T.Schilperoort
3.1	F.M.Kleissen	16-4-2008		L. Arentz	T.Schilperoort
Projectnummer:		Z4337			
Trefwoorden:		Hydrodynamica, intake-outfalls			
Aantal bladzijden:		34			
Classificatie:		Geen			
Status:		Definitief			

Inhoud

1	Inleiding	1
2	Aanpak koelwatermodellering	2
2.1	Uitgangspunten van de aanpak	2
2.2	Hydrodynamische karakteristieken van het gebied	2
2.3	Opzet van 3d-model	4
2.4	Near-field analyse	9
3	Model resultaten	11
3.1	Model validatie	11
3.2	Definities van de scenarios	13
3.3	Modelresultaten zoutstratificatie	16
3.4	Modelresultaten warmtevracht 97 MW	18
3.5	Modelresultaten warmtevracht 120 MW	21
3.6	Modelresultaten warmtevracht 158 MW	24
3.7	Overschrijdingsfrequenties en gemiddelde temperatuurverhoging	27
4	Conclusies	29
	Literatuur	29
	Bijlagen	
A	Modelresultaten	30

I Inleiding

AVR Afvalverwerking BV is van plan om de afvalverbrandingsinstallatie AVR-Brielselaan in Rotterdam te moderniseren in het kader van het voorgenomen besluit om de installatie tot het jaar 2030 in bedrijf te houden. Voor de renovatie van de huidige installatie is een revisievergunning voor Wvo/Wwh noodzakelijk. Royal Haskoning verzorgt in opdracht van AVR de revisievergunningaanvragen voor de renovatie van AVR-Brielselaan.

Voor de beoordeling van de koelwaterlozing(en) heeft Royal Haskoning de opdracht aan WL|Delft Hydraulics gegund om een koelwaterstudie uit te voeren door middel van een 3D-analyse, gebaseerd op onze offerte van 10 januari 2007 (MCM-22944/Z4337/AvD). Vervolgens is, op verzoek van Royal Haskoning, in maart 2008 nog een aanvullende berekening gedaan.

De aanpak en de resultaten van deze studie zijn in dit rapport samengevat.

- Hoofdstuk 2 legt de gebruikte aanpak uit;
- Hoofdstuk 3 presenteert de modelresultaten;
- Hoofdstuk 4 sluit af met de conclusies.

2 Aanpak koelwatermodellering

2.1 Uitgangspunten van de aanpak

In dit hoofdstuk wordt de gevolgde methodologie voor de modellering uiteengezet. Op basis van inzichten uit eerdere studies en meetgegevens zijn een aantal aannamen gedaan. Die aannamen worden in de volgende paragrafen nader uiteengezet.

Gebaseerd op deze aannamen is een hydrodynamisch model opgesteld. Voor het doorrekenen van de verschillende lozingsscenario's met dit model wordt gebruik gemaakt van Delft3D-FLOW versie 3.54.27.00.

De aanpak van de modelstudie wordt gestuurd door een aantal elementen. Allereerst bepaalt de beschikbaarheid van huidige modellen het uitgangspunt van de modelopzet. Voor zover mogelijk dienen de modellen gevalideerd te zijn. Dit laatste is afhankelijk van de beschikbaarheid van geschikte waarnemingen en relevante informatie. In deze studie wordt een lokaal detail model opgezet, gebruik makend van Delft3D-FLOW, dat wordt aangestuurd door randvoorwaarden (waterstanden, debieten en zoutgehaltes) die zijn afgeleid van het geverifieerde landelijke temperatuur model (WL | Delft Hydraulics, 2006).

In deze studie is ook van belang binnen welk kader de beoordeling van de lozing zal plaatsvinden. In dit geval zijn de koelwaterrichtlijnen van de CIW (Commissie Integraal Waterbeheer) van belang vanwege de toekomstige vergunningverlening. Met name de zogenaamde 25% norm (minder dan 25% van de dwarsdoorsnede van het ontvangende water met een temperatuur hoger dan 30°C) en het hanteren van maximaal 3 graden boven de achtergrondtemperatuur (met een maximum van 28°C) zijn van belang. Hierbij refereert de CIW norm naar zogenaamde lage rivierafvoeren.

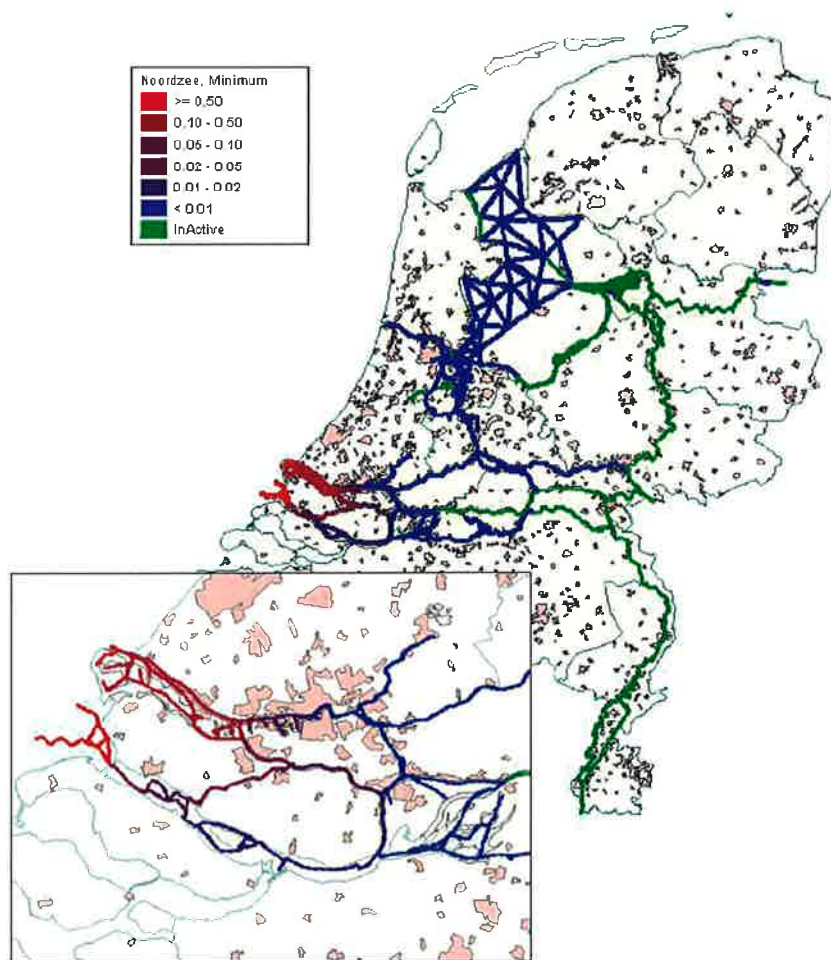
2.2 Hydrodynamische karakteristieken van het gebied

De Maashaven is een zeer dynamisch en complex hydrodynamisch systeem. De interactie van rivierafvoer en getij in een complexe kust- en havengeometrie zorgt ervoor dat de lokale condities bij het inname- en lozingspunt voortdurend veranderen. Uit eerdere studies naar de verspreiding van koelwaterpluimen in gebieden verder benedenstrooms van de Maashaven zoals de Chemiehaven en het Maasvlaktegebied is bekend dat de verspreiding van een koelwaterpluim hoofdzakelijk bepaald wordt door:

- rivierafvoer;
- zoutindringing/stratificatie;
- getij.

Figuur 2-1 toont het resultaat van een meerjarige simulatie met een 1-dimensionaal temperatuurmodel waarin de gemiddelde fractie water afkomstig van de Noordzee staat afgebeeld op een schaal tussen 0 (volledig zoet water) en 0,5 (50% zoet en 50% Noordzee

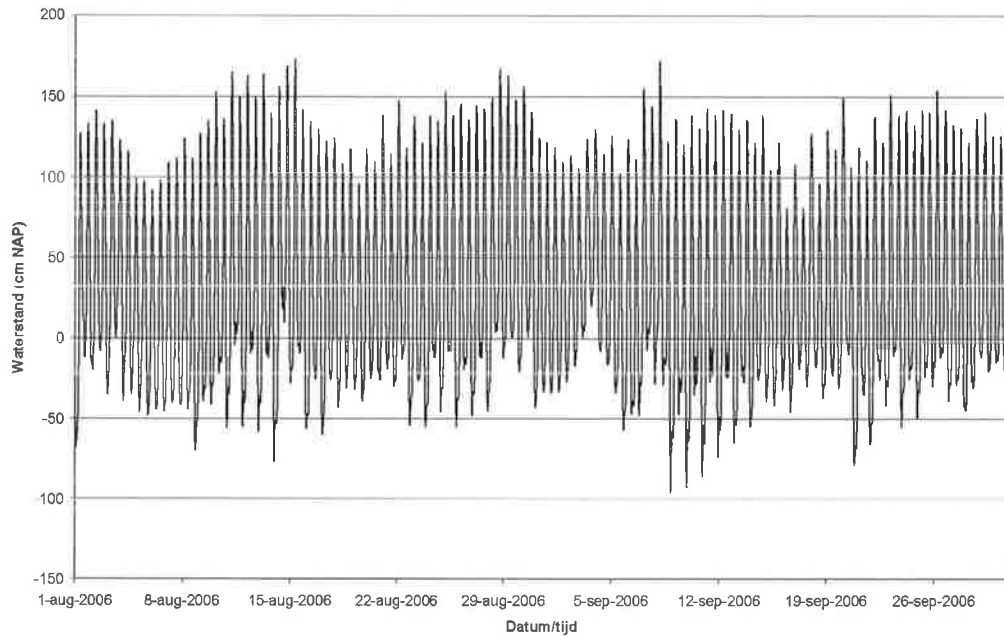
water). Een fractie van 1 betekent volledig Noordzee water (zout water) (WL | Delft Hydraulics, 2006).



Figuur 2-1 – Fractie water afkomstig van de Noordzee (0 - 0,5) gemiddeld over de simulatieperiode 2001-2004 (WL | Delft Hydraulics, 2006).

Uit die studie kan afgeleid worden dat bij lage rivierafvoer, het zoutgehalte ter hoogte van de Maashaven op kan lopen tot circa 4 ppt (parts per thousand, gelijkwaardig aan g/kg). Merk op dat rivierafvoer en zoutindringing gecorreleerd zijn: bij een lage rivierafvoer is het zoutgehalte hoog en bij een hoge rivierafvoer is het zoutgehalte laag. Ook is de waterstand in de Noordzee van belang voor de zoutindringing. Bij een windopzet (door bijvoorbeeld een noordwester storm) en hogere waterstanden, dringt het zout verder door dan tijdens gemiddelde situaties. Het feit dat zoutindringing en rivierafvoer afhankelijke grootheden zijn is van belang voor de modellering van het interessegebied.

Waterstandmetingen ter hoogte van de Willemsbrug in Rotterdam (Figuur 2-2) tonen aan dat het getij nog een aanzienlijke invloed kan hebben ter hoogte van de Maashaven. De getijslag ligt in de orde 1- 1,5 m.



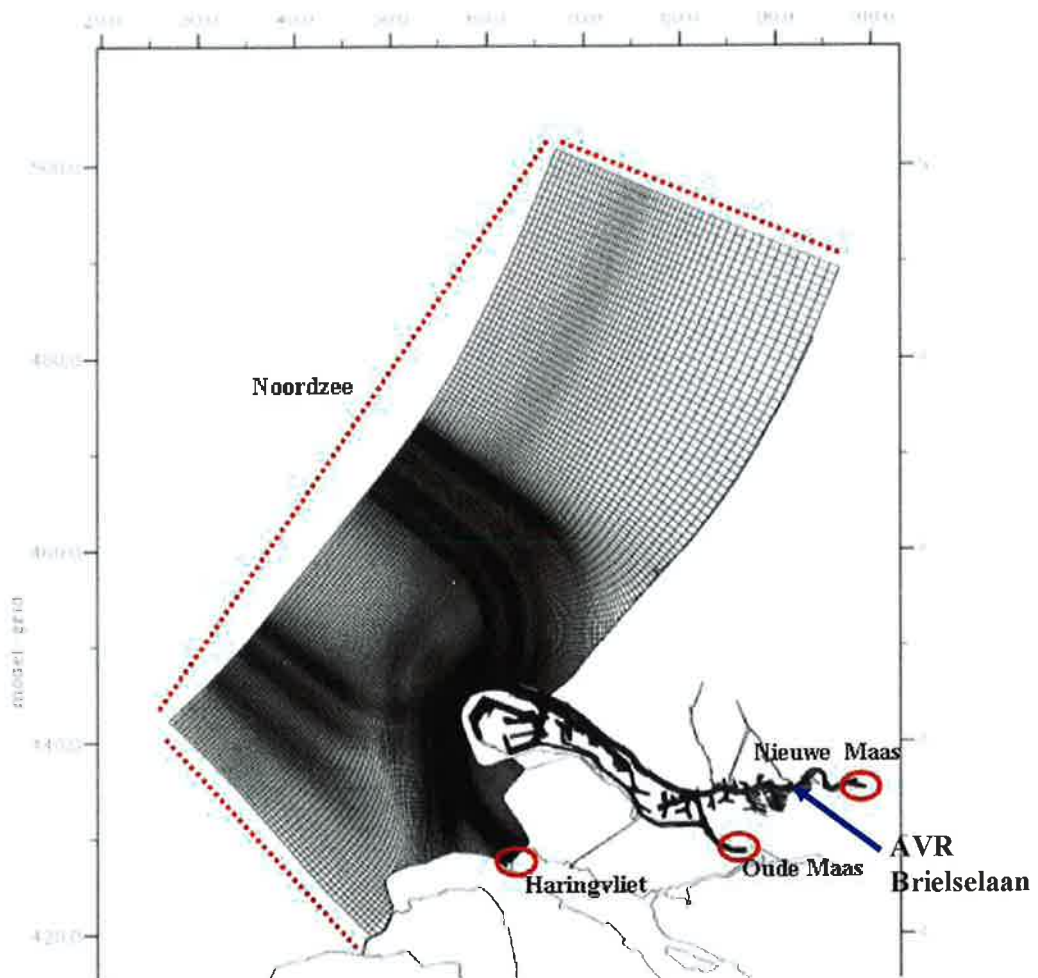
Figuur 2-2 – Waterstand in Rotterdam in centimeter ten opzichte van NAP voor de periode augustus – september 2006 (bron: www.waterbase.nl)

Als eerste aanzet worden alle drie bovengenoemde factoren; getij, zoutindringing en rivierafvoer, als sturend beschouwd voor de verspreiding van de koelwaterpluim. Het effect van meteorologische condities (o.a. wind) speelt naar verwachting een geringe rol bij de verspreiding van de koelwaterpluim als gevolg van uitdemping door bebouwing in dit gebied en wordt daarom niet meegenomen in de modellering van de toekomstige scenario's.

2.3 Opzet van 3d-model

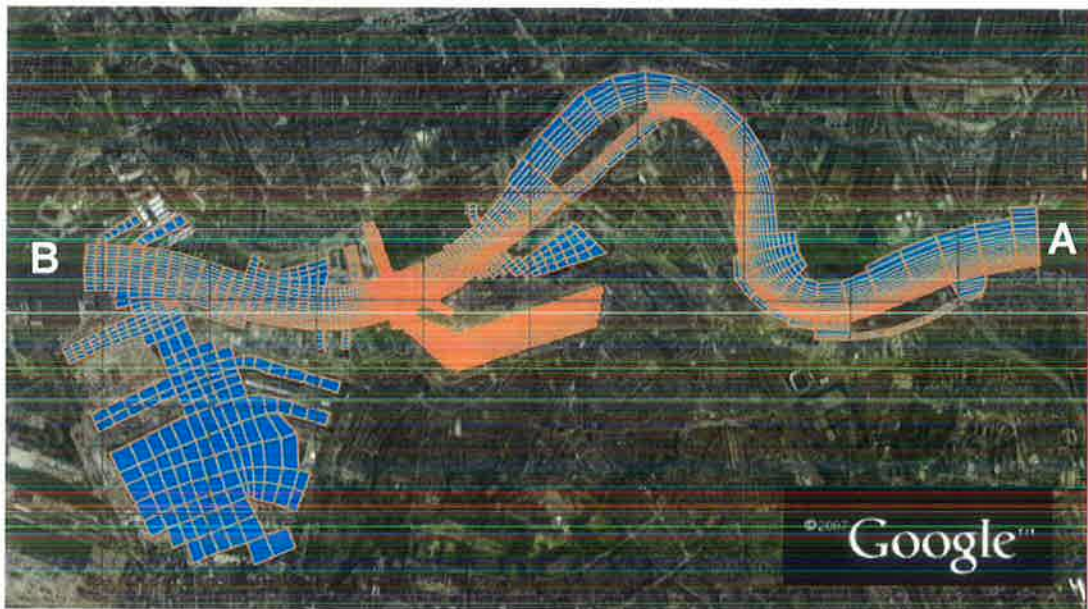
Een gekalibreerd 3-dimensionaal hydrodynamisch model van de volledige Nieuwe Waterweg en Nieuwe Maas dat in staat is de zoutstratificatie nauwkeurig te voorspellen is op dit moment niet beschikbaar. De ontwikkeling van een dergelijk model is zeer ambitieus en valt buiten de scope van deze studie. Er is dan ook in de offerte voorgesteld om de werkelijkheid dusdanig te schematiseren dat bovengenoemde systeemkarakteristieken met voldoende detail worden weergegeven. Met andere woorden, de forcering bij de ingang van de Maashaven als gevolg van getij, rivierafvoer en zoutgehalte dient met voldoende detail door het model voorspeld te worden. Uitgangspunt hierbij is dat de belangrijkste menging van de koelwaterlozing binnen de haven zal plaatsvinden. Door de grotere stroomsnelheden op de Nieuwe Maas zal de koelwaterpluim buiten de haven snel mengen, waardoor het effect van de koelwaterpluim vanuit de Maashaven op de Nieuwe Maas zeer beperkt zal zijn.

In deze studie wordt gewerkt met een relatief klein model. Een eerste versie van het rekenrooster voor dit model is uitgeknipt uit een groot grid, zie Figuur 2-3, dat in het verleden gebruikt is voor 2-dimensionale koelwater studies rondom de Maasvlakte.

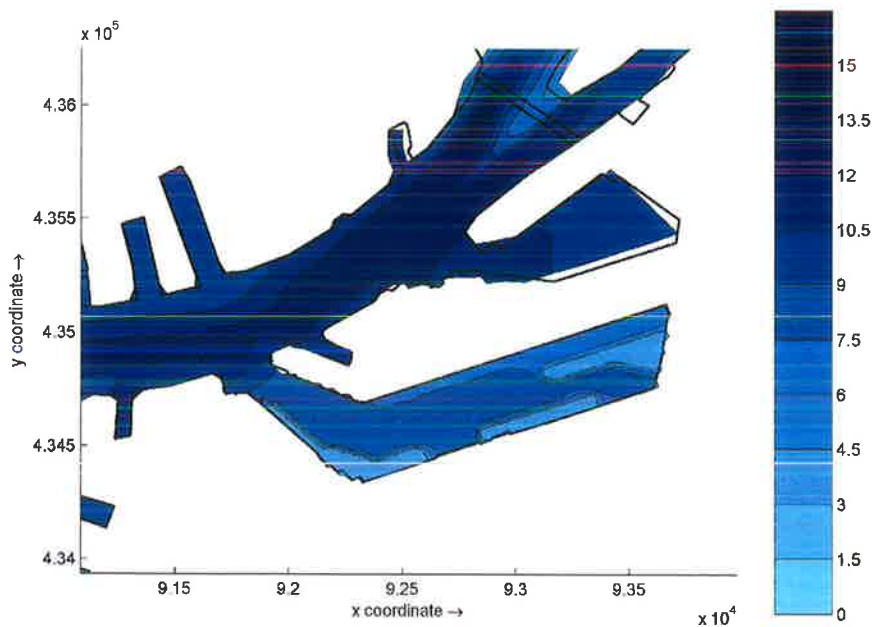


Figuur 2-3 – Maasvlakte2 modelgrid, met modelranden in rood aangegeven.

Het Maasvlakte2 modelgrid is veel te groot voor deze studie, hetgeen leidt tot extreme rekentijden. Bovendien is dit model niet specifiek gekalibreerd voor zoutindringing, waardoor het niet geschikt is voor deze AVR-Brielselaan studie. Daarom wordt in deze studie gerekend met een kleiner model waarvan de modelranden zich bevinden bij de Lekhaven (benedenstrooms) en bij de instroom van de Nieuwe Maas (bovenstrooms), zie Figuur 2-4. De rivierdieptes zijn door RWS geleverd en in het model opgenomen (Figuur 2-5)



Figuur 2-4 – Gedetailleerd modelrooster voor de Nieuwe Maas en de Maashaven. De modelrand bij de instroom van de Nieuwe Maas (bovenstreams) is aangegeven met een A, die bij de Lekhaven (benedenstreams) met een B.

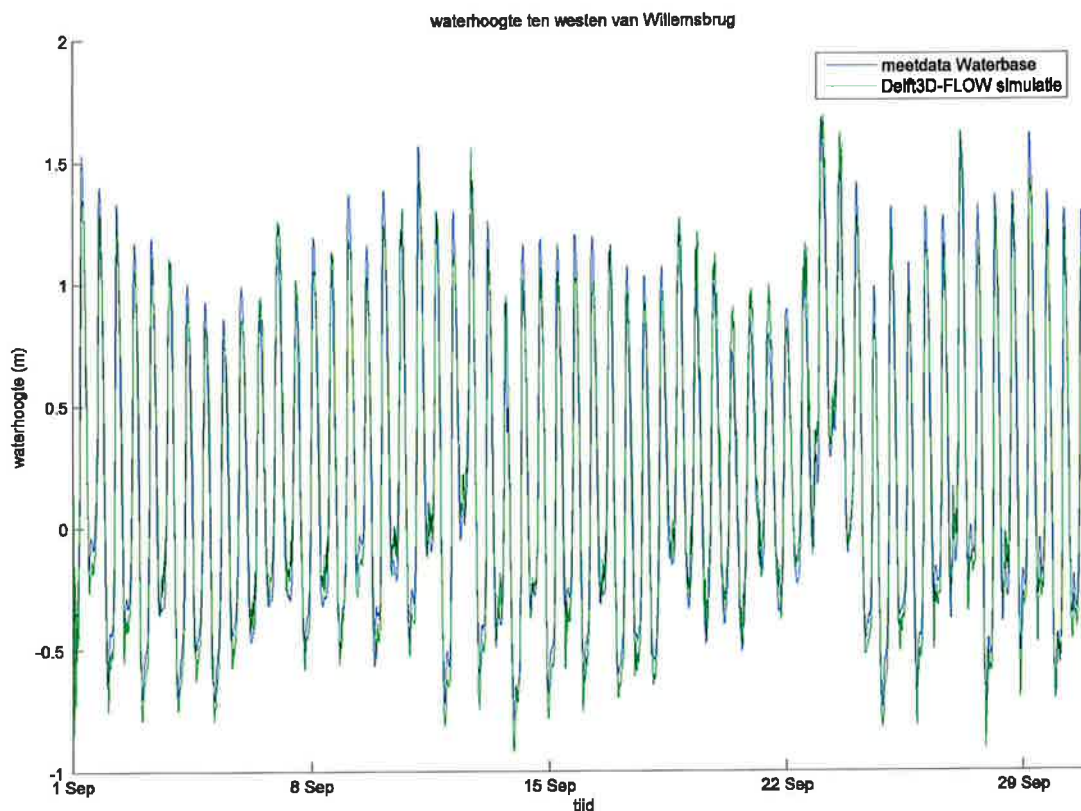


Figuur 2-5 – Gebruikte diepte (in m onder NAP) voor het gedetailleerde modelrooster voor de Nieuwe Maas en de Maashaven, de grijze lijn geeft de landgrenzen aan.

De benedenstroomse modelrand ligt op circa 3 km van de Maashaven. Gezien de relatief kleine omvang van de koelwaterpluim en de sterke menging in de Nieuwe Maas verwachten wij dat de invloed van de koelwaterpluim hier niet noemenswaardig merkbaar meer zal zijn.

Stromingsvoorwaarden voor de twee modelranden zijn afgeleid van resultaten van het al eerder genoemde 1-dimensionaal SOBEM temperatuurmodel [1]. Op de modelrand bij de instroom van de Nieuwe Maas (bovenstreams, B in Figuur 2-4) is een debiet opgelegd, op de modelrand bij de Lekhaven (benedenstreams, A in Figuur 2-4) een waterstand. De

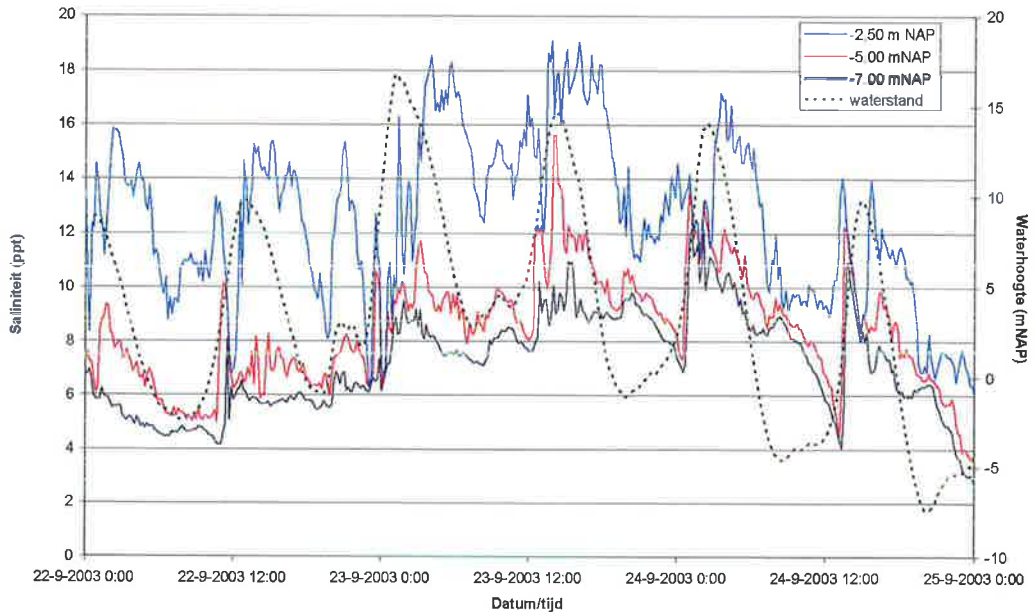
correctheid van deze aanpak is getoetst door, voor de waterstand, uitkomsten van de simulatie van het detailmodel te vergelijken met metingen uit Waterbase, zie Figuur 2-6. Uit deze figuur blijkt dat de waterstand van de simulatie goed overeenkomt met de gemeten waterstand.



Figuur 2-6 – Gemeten (uit Waterbase) en berekende waterstand nabij Willemsbrug in Rotterdam.

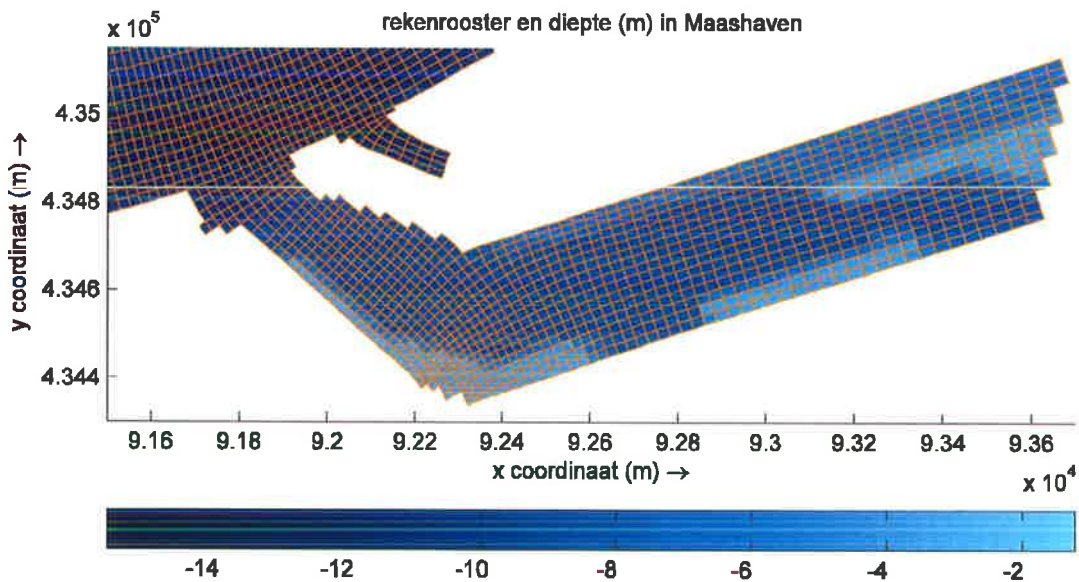
De locatie ter hoogte van de Lekhaven is gekozen gezien de beschikbaarheid van chloride-metingen (3 in de verticaal) (KNMI, 2005). Het zoutgehalte van de benedenstroomse randforcering is afgeleid op basis van deze metingen. Figuur 2-7 laat dit zoutgehalte zien voor 22 september 2003 tot en met 25 september 2003. Volgens data uit Waterbase (let wel, niet gemeten maar gebaseerd op simulatie met SOBEK) was er op 23 september 2003 een erg lage afvoer van $54 \text{ m}^3/\text{s}$, (tov. een gemiddelde afvoer per dag in september 2003 van $269 \text{ m}^3/\text{s}$). Op 23 september is in Figuur 2-7 een sterke stratificatie waar te nemen. Het verschil in zoutgehalte gemeten op 2,5 meter onder NAP en op 7 meter onder NAP bedraagt daar maar liefst 8 ppt. Hieruit blijkt dat bij een lage rivierafvoer een sterke stratificatie optreedt. De situatie op 23 september wordt als scenario gebruikt in de modelsimulatie vanwege de sterke zoutstratificatie. Om hiertoe stratificatie aan de hand van de waarnemingen in Figuur 2-7 te forceren worden voor het zout de volgende randvoorwaarden opgelegd:

- op de bovenstroomse rand (B in Figuur 2-4) een zoutgehalte van 7 ppt over de hele waterkolom, en
- op de benedenstroomse rand (A in Figuur 2-4) aan het wateroppervlak een zoutgehalte van 8 ppt dat naar beneden zakkend lineair toeneemt tot 18 ppt op de bodem.



Figuur 2-7 – Zoutgehalte (afgeleid uit chloride metingen) op drie verschillende hoogten in Lekhaven.

Het modelgrid dient als basis voor de berekeningen. Voor dit modelgrid zijn de bijbehorende diepten afgeleid van dieptedata voor de Nieuwe Maas van Rijkswaterstaat en dieptedata voor de Maashaven van het Havenbedrijf Rotterdam (Figuur 2-5). Om de koelwaterpluimdynamica goed te kunnen modelleren is de gridresolutie verfijnd in de buurt van de Maashaven, zie Figuur 2-8. Lokaal, in de buurt van de lozing is de resolutie van het grid 20 bij 20 meter.



Figuur 2-8 – Detail van rekenrooster (oranje) en diepte in de Maashaven.

2.4 Near-field analyse

Om te bepalen hoe de lozing in het model moet worden geïntroduceerd, moet worden vastgesteld wat de belangrijkste karakteristieken zijn van de lozingspluim vlakbij het lozingspunt. In dit bereik kan het hydrodynamische model de pluim niet berekenen omdat het model uitgaat van een zogenaamde hydrostatische aanname en vlakbij het lozingspunt deze aanname niet opgaat. Een near-field model, zoals CORMIX, is in staat om aan te geven hoe groot dit gebied is. Pas als de hydrostatische aanname opgaat, kan de lozing in het model worden geïntroduceerd.

De karakteristieken van het omgevingswater zijn afgeleid van initiële hydrodynamisch sommen (zonder lozing), omdat er geen lokale hydrodynamische gegevens, die voor een near-field analyse nodig zijn, beschikbaar zijn.

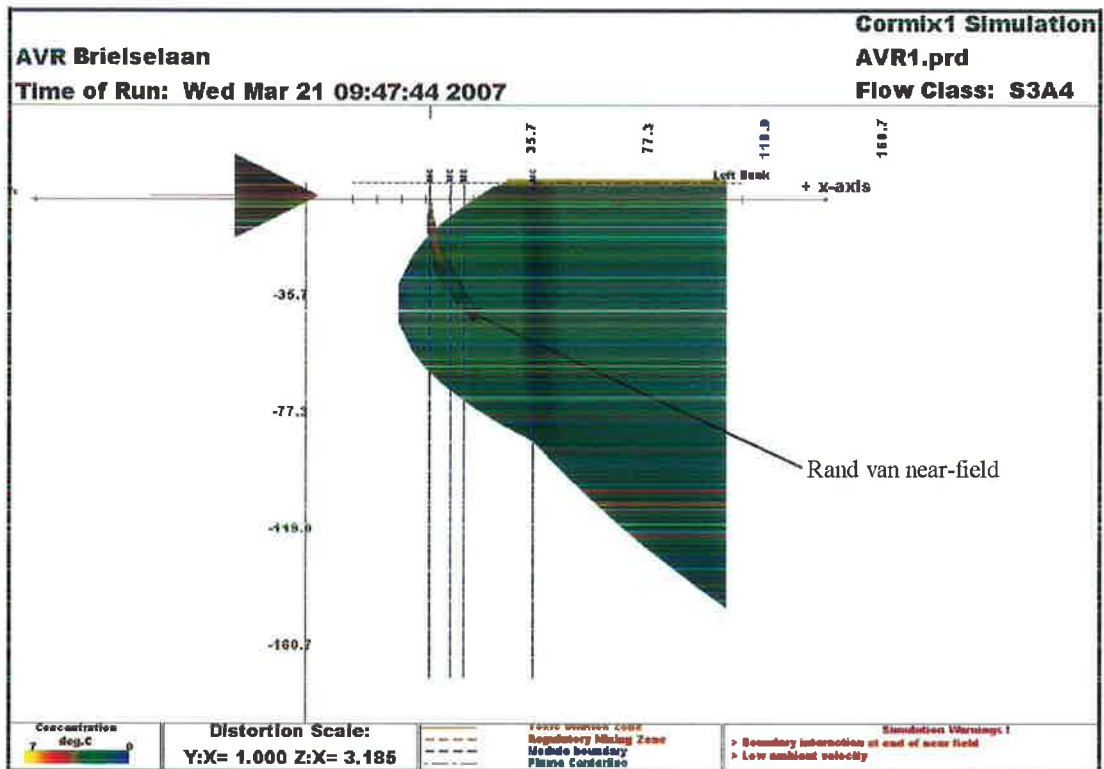
Uit de modelresultaten blijkt dat stratificatie in de haven, uitgedrukt in een dichtheidsverschil tussen bodem en oppervlak, tot ongeveer 6 kg/m^3 kan oplopen met een lokale waterdiepte van ongeveer 4.5 m. Stroomsnelheden variëren van ongeveer 0.1 m/s tot 1.4 m/s aan het oppervlak, met gelijktijdig een snelheid bij de bodem van ongeveer 0.6 m/s. De hogere snelheden komen alleen gedurende korte periodes voor.

Met een temperatuurverschil van 7°C is het dichtheidverschil van het geloosde water ten opzichte van het omgevingswater 1.9 kg/m^3 . Indien stratificatie voorkomt zoals door het model aangegeven, dan kan in deze situatie de pluim gevangen worden in de stratificatie.

Van deze karakteristieken zijn de volgende condities voor een CORMIX analyse afgeleid:

- $u=0.1 \text{ m/s}$, Stratificatie= 5 kg/m^3 over een diepte= 4.5 m ;
- $u=1.0 \text{ m/s}$, Stratificatie= 5 kg/m^3 over een diepte= 4.5 m ;
- $u=0.1 \text{ m/s}$, zonder stratificatie.

Uit de resultaten van de CORMIX analyse blijkt dat de near-field zone relatief beperkt is. Direct na het lozen ontstaat er een zogenaamde jet die voornamelijk door de uitstroom wordt gedreven. Dit gebeurt tot op een afstand van maximaal ongeveer 20m met een mengfactor van 5-10. Bij een hogere stroomsnelheid is deze afstand minder. Daarna heeft de stroming meer invloed op de pluim, maar neemt de mengfactor relatief weinig toe. Op een gegeven moment is de invloed van de uitstroom vrijwel verdwenen en wordt de verspreiding ten gevolge van het dichtheidsverschil het belangrijkste mengproces. Dit is het punt waarop het eind van het near-field is gedefinieerd. Voor alle drie scenario's wordt het einde van de near-field binnen ongeveer 5 minuten bereikt. Het einde van de near-field ligt dan op maximaal zo'n 35m van het lozingspunt, hetgeen overeenkomt met ongeveer 1 gridcel. (zie Figuur 2-9).



Figuur 2-9 – Voorbeeld van bovenaanzicht CORMIX pluimverspreiding (rand near-field is aangegeven)

In Figuur 2-9 is niet alleen de near-field te zien, maar ook een gedeelte van de pluim dat zich buiten de near-field zone bevindt. Het Delft3D-FLOW model kan het gedrag buiten de near-field zone wel simuleren omdat hier de hydrostatische aanname wel geldt. De grootte van de near-field zone is afhankelijk van de lokale stroomsnelheid en is kleiner bij grotere stroomsnelheden. Gezien de resultaten van de CORMIX analyse kan worden geconcludeerd dat het lozingspunt in het Delft3D model 1 gridcell verder van de havenkade geïntroduceerd dient te worden dan het fysieke lozingspunt.

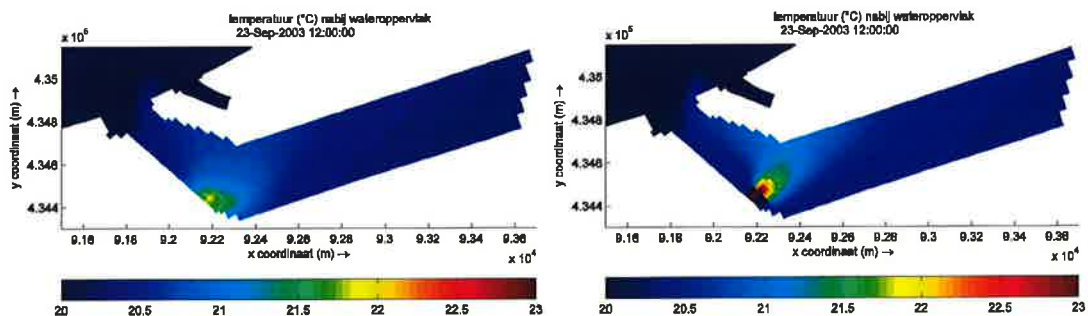
3 Model resultaten

3.1 Model validatie

Op 28 november 2006 is van de Maashaven een infraroodbeeld genomen en voor deze studie beschikbaar gemaakt door RWS. De foto is genomen ten tijde van een relatieve hoge rivierafvoer, en dus zonder significante zoutstratificatie. Ook was de warmtelast vanuit de AVR-Brielselaan installatie relatief laag (ongeveer 28MW).

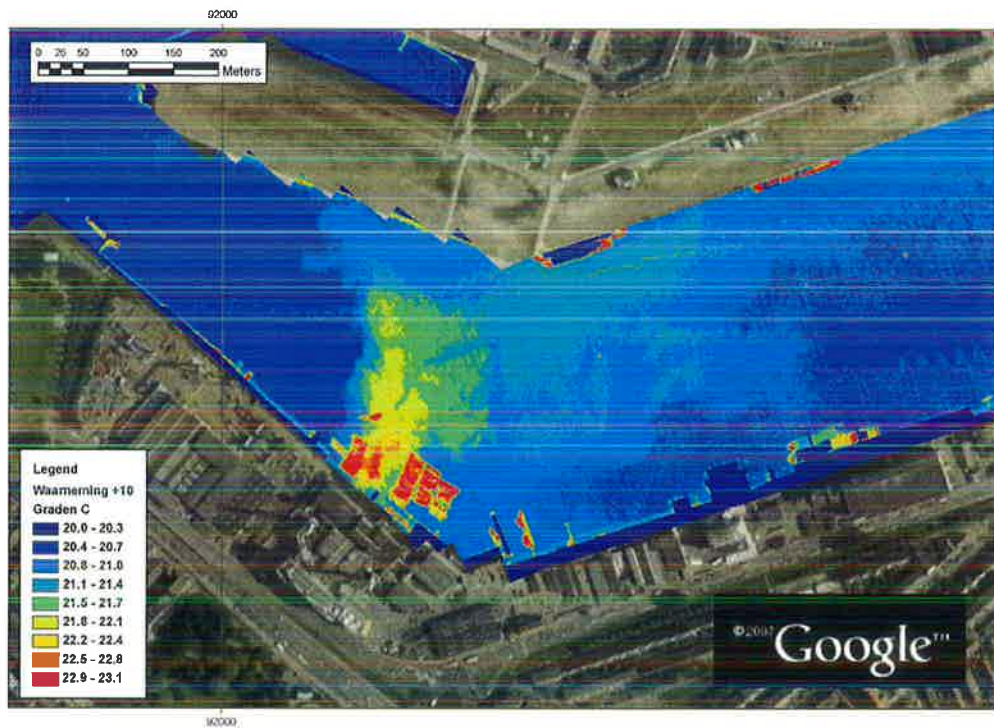
Naar aanleiding van het infraroodbeeld is een validatie van het model uitgevoerd, gebruik makend van de op die dag gegeven condities. Uit diverse testen is gebleken dat de warmwaterpluim van de AVR lozing voor een belangrijk deel wordt beïnvloed door de schepen die daar ter plekke zijn aangemeerd. De infrarood foto laat duidelijk zien dat er nauwelijks of geen warm water onder de schepen door komt.

De afscherming van de pluim door de aangemeerde schepen is in het model nagebootst door het warme water tussen de schepen te "kanaliseren" (gebruik makend van zogenaamde dunne dammen). Figuur 3-1 laat het verschil zien van uitkomsten van de validatie zonder en met dunne dammen om het effect van de afgemeerde schepen inzichtelijk te maken.

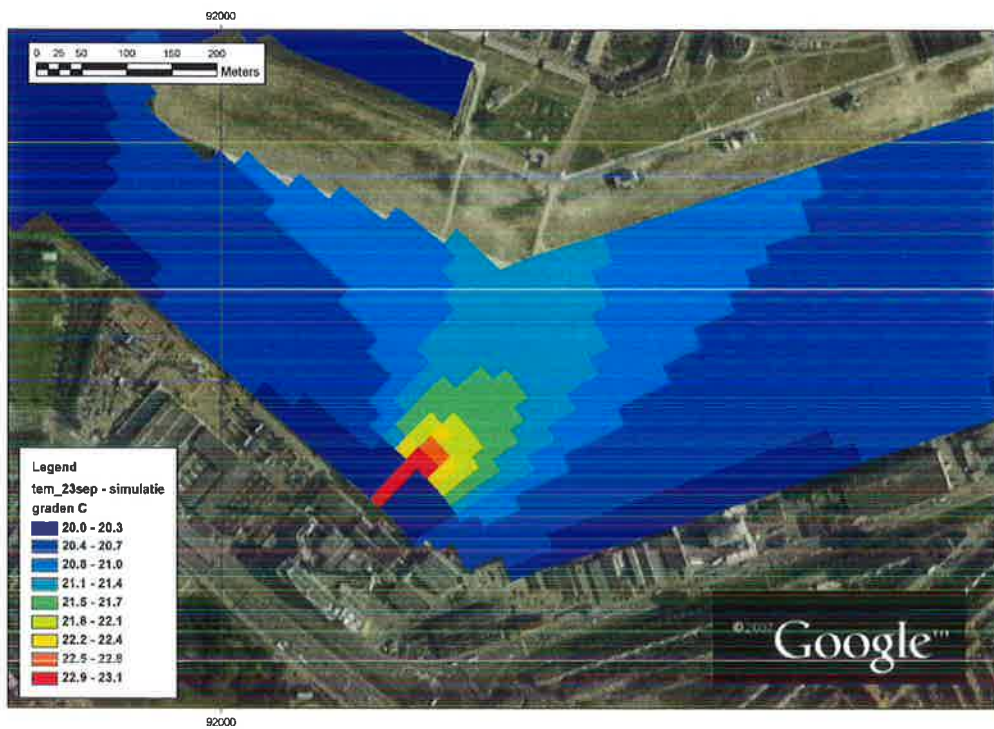


Figuur 3-1 – Validatie van model zonder (linker plaatje) en met (rechterplaatje) dunne dammen om de afgemeerde schepen vlakbij het lozingspunt te modelleren.

Wind, die volgens historische gegevens van het KNMI op het tijdstip van de foto uit het zuiden waait, is ook in het model toegepast. Het aldus aangepaste model blijkt goed overeen te komen met de infrarood foto (Figuur 3-2 en Figuur 3-3).



Figuur 3-2 – Waargenomen temperatuur (infrarood) in de Maashaven (28 november 2006), achtergrond: Google Earth



Figuur 3-3 – Gemodelleerde temperatuur in de Maashaven (validatie), achtergrond: Google Earth

De figuren laten de overeenkomst zien. Beide beelden geven de situatie weer vlak na laag water. Voor een goede vergelijking met het model, is het infrarood beeld wat aangepast aan de omstandigheden die in het model zijn gehanteerd. Bij de waargenomen beelden zijn 10 graden Celsius opgeteld omdat het model een vaste achtergrondtemperatuur van 20 graden hanteert en de achtergrond ten tijde van de waarnemingen ongeveer 10 graden is. Vervolgens zijn de modelresultaten en de infrarood informatie op de zelfde schaal afgebeeld.

De schepen die aangemeerd liggen lijken dus een belangrijke invloed uit te oefenen op de verspreiding van de pluim, met name omdat de lozing plaatsvindt tussen de schepen en de lozing aan beide zijden wordt begrensd. Als in een dergelijke situatie de dwarsdoorsnede voor een CIW beoordeling bij het lozingspunt zou worden genomen, dan heeft de ligging van de schepen een negatieve invloed. Dit zou voor een grotere lozing dus van invloed kunnen zijn op de beoordeling (uiteraard afhankelijk van hoe de CIW richtlijnen uiteindelijk wordt geïnterpreteerd). Voor alle scenario's die zijn doorgerekend zijn de schepen in het model meegenomen.

3.2 Definities van de scenarios

De opzet van het 3D-model en de berekening van de eerste twee scenario's (41 MWth en 97 MWth) zijn uitgevoerd ten tijde van de voorbereidingen van het MER voor de realisatie van het zogenaamde Retrofit 2 plan (zie toelichting verderop). Dit betekent dat de keuze van deze beide scenario's hierop was afgestemd. In een latere fase zijn er een derde en vierde scenario toegevoegd met een thermische lozing van, respectievelijk, 120 en 158 MWth. Deze zijn gebaseerd op het al of niet in bedrijf zijn van de turbines in een worst-case situatie (zie toelichting verderop).

In Tabel 3-1 zijn de verschillende scenario's (zonder warmtelevering) met de bijbehorende warmtevrachten in MWth weergegeven, zoals door AVR aangeleverd. In Tabel 3-1 zijn ook de gegevens van de gemodelleerde scenarios opgenomen. Sinds het uitvoeren van de modelsimulaties zijn de lozingsgegevens van AVR gewijzigd waardoor de warmtevrachten van de doorgerekende scenarios niet volledig overeenkomen met de door de AVR geleverde warmtevrachten. Echter, de doorgerekende warmtevrachten zijn gelijk of groter dan de actuele lozingsgegevens van de diverse scenarios, waardoor de modelresultaten de effecten van de warmtelozing zullen overschatten (een conservatieve benadering). Vandaar dat de resultaten van het eerste scenario (met een warmtevracht van 41MWth) niet in dit rapport zijn opgenomen.

Scenario (zonder levering van stadswarmte)	Scenario	MWth (geloosd)	MWth (met model doorgerekend)	Debiet [m ³ /h]	Debiet [m ³ /s]	ΔT over condensor [°C]	Locatie lozing
Bestaande situatie (MJV 2007)	Vollast en turbines in bedrijf	63	97	8.849	2,5	7	nieuwe locatie
RF1	Vollast en turbines in bedrijf	57	97	8.849	2,5	7	nieuwe locatie
	Vollast en geen turbine beschikbaar (opm. 1)	97	97	11.880	3,3	7	nieuwe locatie
RF2	Vollast en turbines in bedrijf	75	97	11.880	3,3	7	nieuwe locatie
	Vollast en geen turbine in bedrijf (opm. 1)	120	120	14.800	4,1	7	nieuwe locatie
	Vollast en geen turbine in bedrijf, geen eigen verbruik	151	158	24.460	5,4	7	nieuwe locatie

Tabel 3-1 – Overzicht scenario's 3D-koelwaterberekeningen AVR Brielselaan

Opm: 1) Gebaseerd op de worst-case situatie dat de turbine uitvalt of in onderhoud is, de afvaldoorzet gehandhaafd blijft, er geen warmteafvoer via stadsverwarming plaatsvindt en alle stoom via nood/dumpcondensor wordt afgevoerd.

RF1 normale bedrijfsvoering zonder levering aan stadsverwarming

In dit plan worden de huidige vier ovens gerenoveerd en van nieuwe ketels voorzien. Tevens worden de huidige stoomturbines vervangen door een nieuwe aftapstoomstoomturbine. De afvaldoorzet blijft ongeveer gelijk aan de huidige doorzet (400.000 ton/jaar).

Het is de bedoeling om de locatie van koelwaterlozing tijdens de renovatie te verplaatsen naar een locatie circa 125 meter ten zuidoosten van de huidige locatie. Deze wijziging is in de modelberekeningen van WL meegenomen.

Het vollast en worst case scenario voor RF1 is op de volgende uitgangspunten gebaseerd:

- 440.000 ton per jaar afvaldoorzet: 150 MWth thermische input;
- beschikbaarheid: 93%;
- verbetering van ketelrendement van 70 naar 80%;
- installatie van 1 grote aftapcondensatie stoomturbine;
- delta T over condensor: 7 °C.

RF2: RetroFit 2

In dit plan worden de bestaande vier ovens vervangen door twee grote nieuwe ovens. De afvaldoorzet van de complete installatie gaat hierbij omhoog van 440.000 ton/jaar naar circa 510.000 ton/jaar (gebaseerd op 10 GJ/ton). RF2 is de basis voor het MER en wordt verder uitgewerkt.

Dit scenario is ook doorgerekend waarbij door uitval/onderhoud van de stoomturbine alle stoom via de nood/dumpcondensor wordt afgevoerd naar het oppervlaktewater. Voor dit scenario is ook een worst-case doorgerekend. Dit scenario levert de hoogste warmtevracht (120MW) van de berekende scenario's op. Wanneer daarnaast wordt aangenomen dat er geen energie voor eigen gebruik wordt geleverd, neemt de warmtevracht toe tot maximaal 158 MW.

Doorgerekende scenario's:

Er zijn in deze koelwaterstudie een viertal scenario's doorgerekend met het 3-dimensionale hydrodynamische model. Deze model berekeningen zijn gekoppeld aan de warmtevrachten voor de diverse scenario's (zie Tabel 3-1). Zoals al eerder opgemerkt komen de doorgerekende en geloosde warmtevrachten in Tabel 3-1 komen niet volledig overeen vanwege gewijzigde geloosde warmtevrachten. De berekende scenario's zijn:

- de huidige situatie bij vollastbedrijf en met een warmtelast van 63 MWth; Het berekende scenario is uitgegaan van een warmtevracht van 97 MW;
- een eerder verwachte toekomstige situatie bij realisatie van het RF1 plan; met turbines in bedrijf levert dit een 57 MW lozing op. Met een uitval van de turbines levert dit een maximale lozing van 97 MWth op; Voor beide scenarios zijn de berekeningen uitgegaan van 97MWth. Dit berekende scenario is ook gebruikt voor de inschatting van de effecten van RF2 met de turbines in bedrijf (75MW geloosd);
- de toekomstige situatie voor het RF2 plan met de turbines niet in bedrijf, maar waarbij wel energielevering voor eigen gebruik plaatsvindt (120 MW geloosd);
- de toekomstige situatie voor RF2 met uitval/onderhoud van de turbines met de aanname dat er geen energielevering voor eigen gebruik plaatsvindt; Dit scenario vertegenwoordigt de meest conservatieve benadering (151 MW geloosd en 158 MW berekend).

In de omgeving van de Maashaven wordt het zoutgehalte in het water en de zoutstratificatie beïnvloed door de rivierafvoer, maar ook door mogelijke windopzet vanuit de Noordzee (bijvoorbeeld door een sterke noordwest wind). Wanneer de zouttong zich net ten noorden van de Maashaven bevindt kan zoutstratificatie ontstaan. Vanwege de variabele stratificatie in de Maashaven en het feit dat stratificatie belangrijk is voor het mengen van het effluent, zijn voor elk scenario twee condities doorgerekend:

- zonder zoutstratificatie
- met zoutstratificatie, afgeleid van condities voor augustus 2003.

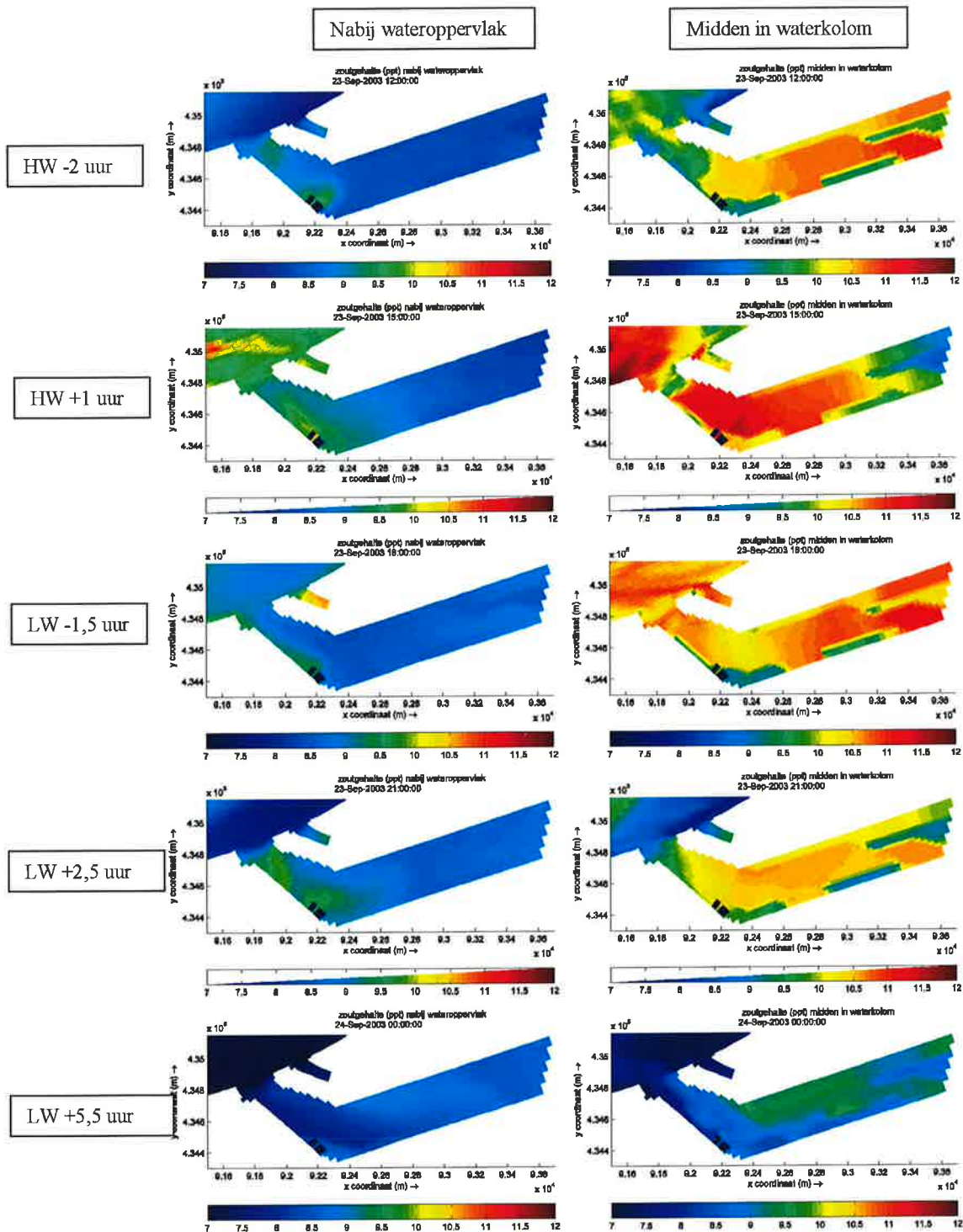
Zoals al eerder gemeld, is voor al deze scenario's de aanwezigheid van schepen aangenomen.

3.3 Modelresultaten zoutstratificatie

Om een indruk te krijgen van de mate van zoutstratificatie in de Maashaven en de invloed die dat kan hebben op het gedrag van de warmtepluim is een representatieve modelsimulatie uitgevoerd. Figuur 3-4 laat de gesimuleerde horizontale en verticale zoutverdeling zien gedurende verschillende fasen in het getij.

De inname en lozing vinden in vrij ondiep water plaats. In die ondiepe gedeeltes van de haven is er bijna geen verticale zoutgradient. Dit betekent dat er tussen het geloosde water en het ontvangende water nagenoeg geen verschil in saliniteit bestaat. Door de verhoogde temperatuur van het geloosde water heeft dit water een lagere dichtheid dan het ontvangende water, waardoor het water nabij het oppervlakte blijft. Het drijvende karakter van de warmwaterpluim hangt dus niet af van het wel of niet aanwezig zijn van zoutstratificatie.

Het 3-dimensionale effect van een door het getij gedreven zouttong is gunstig voor de uitwisseling met de Nieuwe Maas. Met name tijdens eb (plaatje linksonder in Figuur 3-4) is de zouttong vrijwel verdwenen uit het bovenste gedeelte van de waterkolom in de haven. De uitwisseling van het water in de haven met de Nieuwe Maas is dan ook het grootst voor de bovenste waterlagen. Het geloosde warme water zal zich voornamelijk in de bovenste waterlaag bevinden waardoor het ook eerder uit de haven zal verdwijnen, samen met het zout in de bovenste waterlagen.



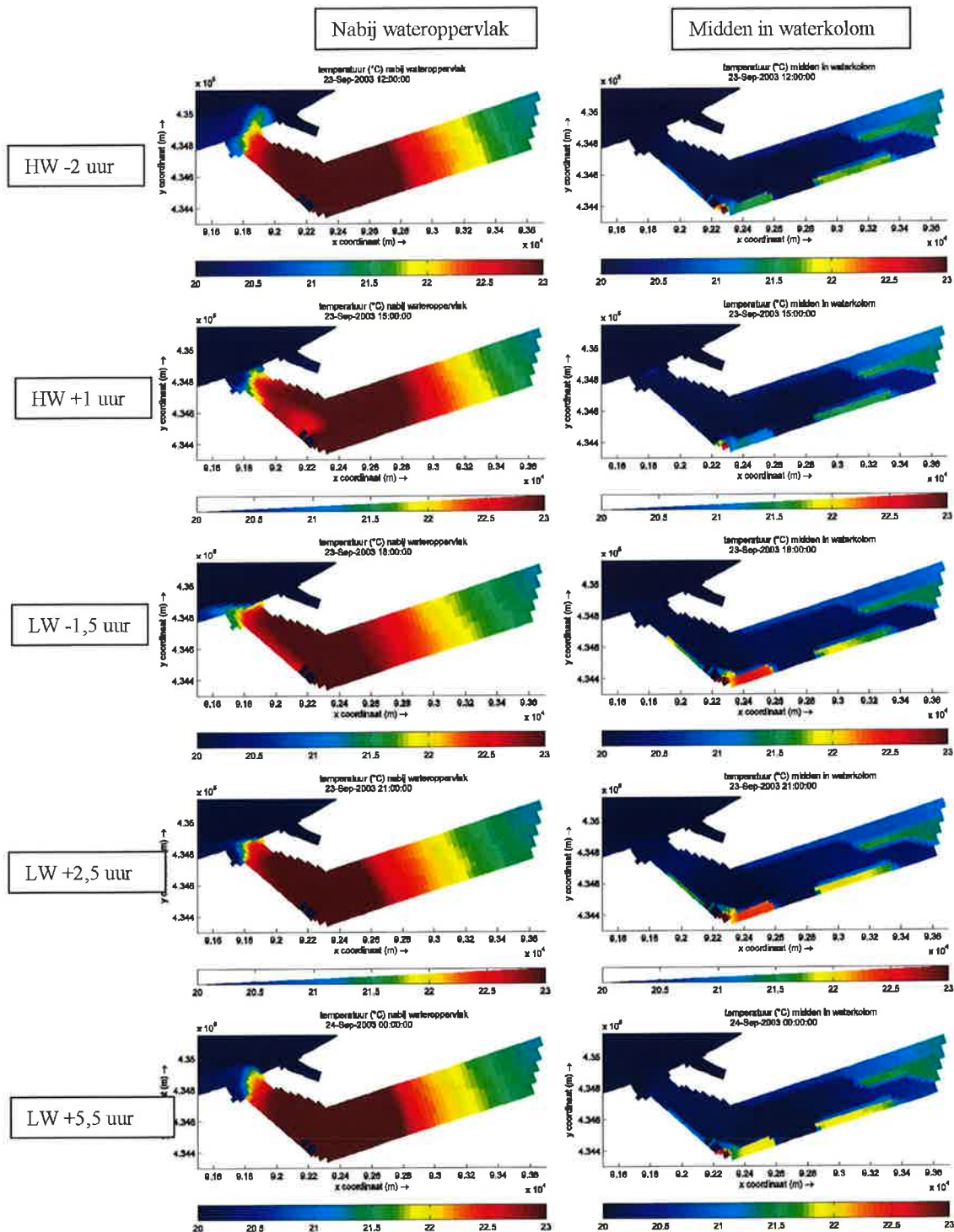
Figuur 3-4 – Momentopnamen gedurende een getij periode op 23 september 2003 van de zoutverdeling nabij het wateroppervlak en in het midden van de waterkolom in de Maashaven voor een simulatie van de huidige situatie.

3.4 Modelresultaten warmtevracht 97 MW

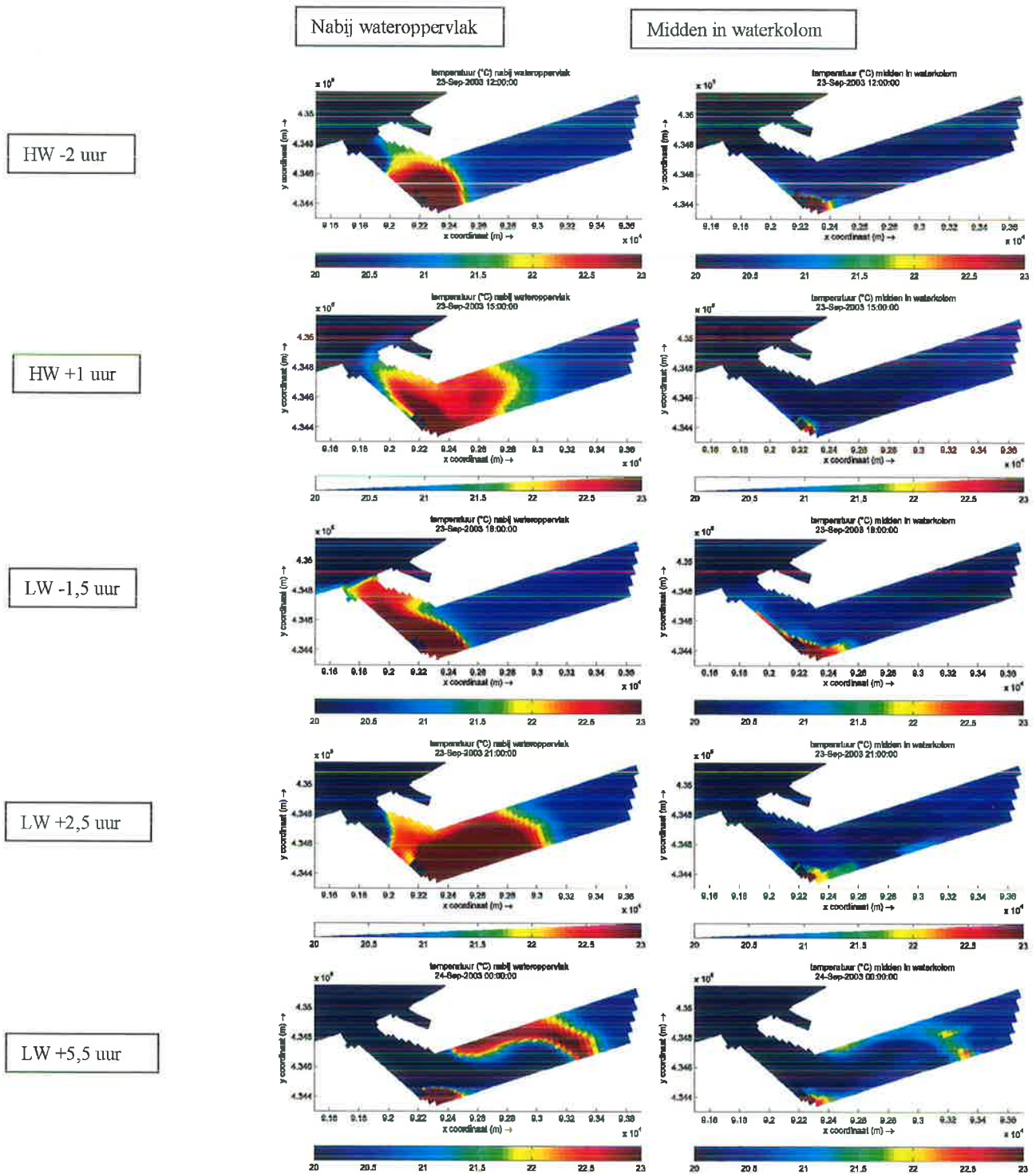
Figuur 3-5 en Figuur 3-6 laten resultaten van simulaties zien voor de toekomstige lozingscondities van 3.3 m³/s met een temperatuurverschil van 7 graden (ca. 97 MW). Figuur 3-5 laat momentopnamen (van bijna vloed in het bovenste plaatje tot net na eb in het onderste plaatje) zien gedurende een getij periode op 23 september 2003 van de temperatuurverdeling nabij het wateroppervlak en in het midden van de waterkolom in de Maashaven voor een simulatie zonder zout. Figuur 3-6 laat hetzelfde zien maar dan voor een simulatie met zout.

Net als in de huidige situatie (Hoofdstuk 3.3) vinden de inname en lozing in vrij ondiep water plaats. Vandaar dat ook in deze situatie de warmwaterpluim een drijvend karakter heeft, dat niet afhangt van het wel of niet aanwezig zijn van zoutstratificatie. De drijvende pluim is op te maken uit de figuren Figuur 3-5 en Figuur 3-6.

Vergelijking van Figuur 3-5 en Figuur 3-6 wijst er, net als in de huidige situatie, op dat het 3-dimensionale effect van een door het getij gedreven zouttong gunstig is voor de uitwisseling met de Nieuwe Maas. Hierdoor is de temperatuurpluim een stuk kleiner, met name tijdens eb (plaatje linksonder in Figuur 3-6, daar is de zouttong vrijwel verdwenen uit het bovenste gedeelte van de waterkolom in de haven).



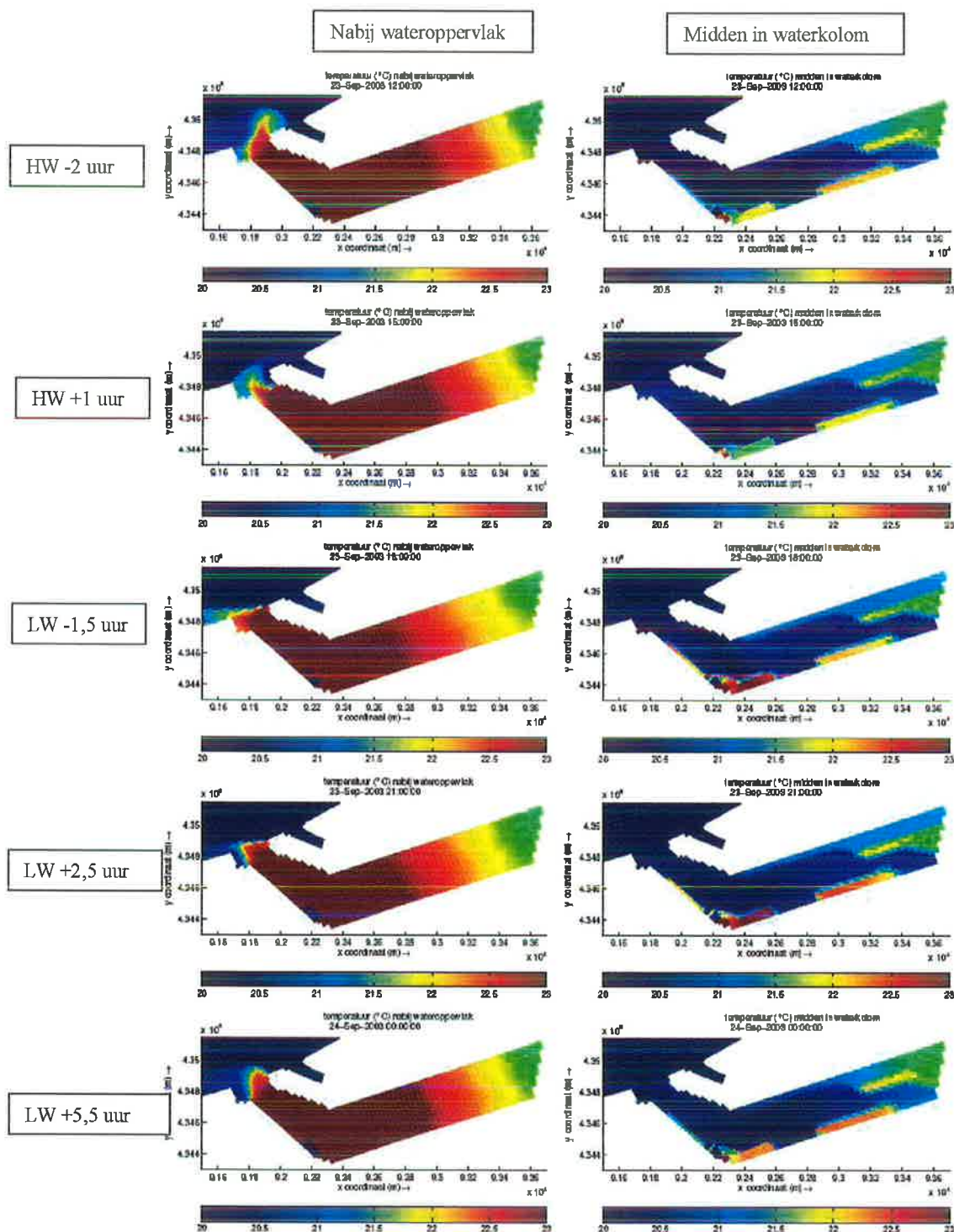
Figuur 3-5 – Momentopnamen gedurende een getij periode op 23 september 2003 van de temperatuurverdeling nabij het wateroppervlak en in het midden van de waterkolom in de Maashaven voor een simulatie van de toekomstige situatie (warmtelast 97 MW) zonder zout.



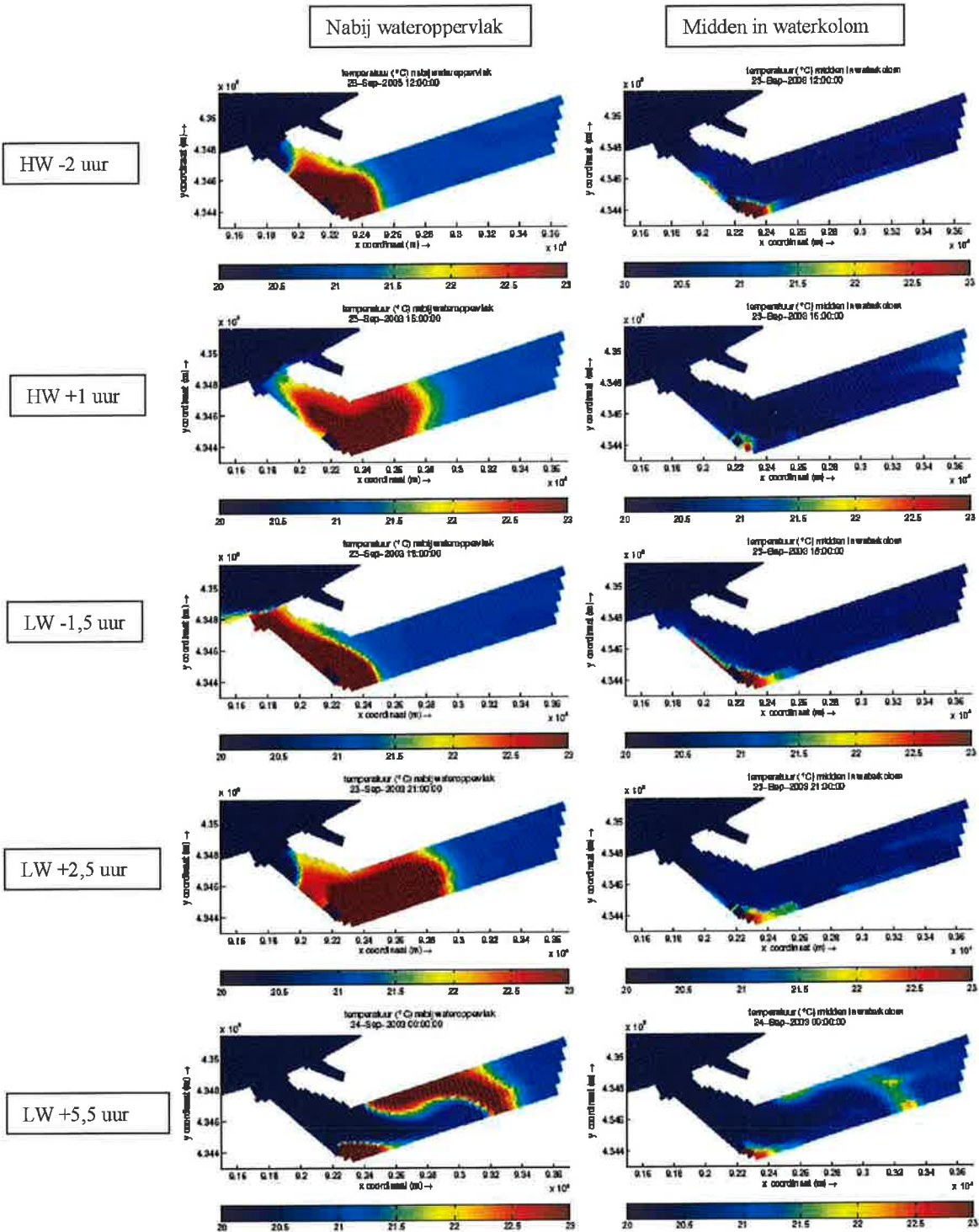
Figuur 3-6 – Momentopnamen gedurende een getij periode op 23 september 2003 van de temperatuurverdeling nabij het wateroppervlak en in het midden van de waterkolom in de Maashaven voor een simulatie van de toekomstige situatie (warmtelast 97 MW) met zout.

3.5 Modelresultaten warmtevracht 120 MW

Figuur 3-7 en Figuur 3-8 laten de resultaten zien voor de toekomstige worst-case situatie met een lozingsdebiet van $4,1 \text{ m}^3/\text{s}$ en een temperatuurverschil van $7 \text{ }^\circ\text{C}$. Het enige verschil met de situatie die is beschreven in Hoofdstuk 3.4 is een verhoogde warmtelast (120 MW ten opzichte van 97 MW) van ongeveer 24%. Dit komt dan ook tot uiting in de contouren van de temperatuur in beide figuren. Het gebied waarin de verhoging van de temperatuur nabij het water oppervlak meer dan 3°C is, is dan ook groter dan bij het vorige scenario. Het effect van de zoutstratificatie is ook nog steeds goed zichtbaar in Figuur 3-8.



Figuur 3-7 – Momentopnamen gedurende een getij periode op 23 september 2003 van de temperatuurverdeling nabij het wateroppervlak en in het midden van de waterkolom in de Maashaven voor een simulatie van de toekomstige situatie (warmtelast van 120 MW) zonder zout.

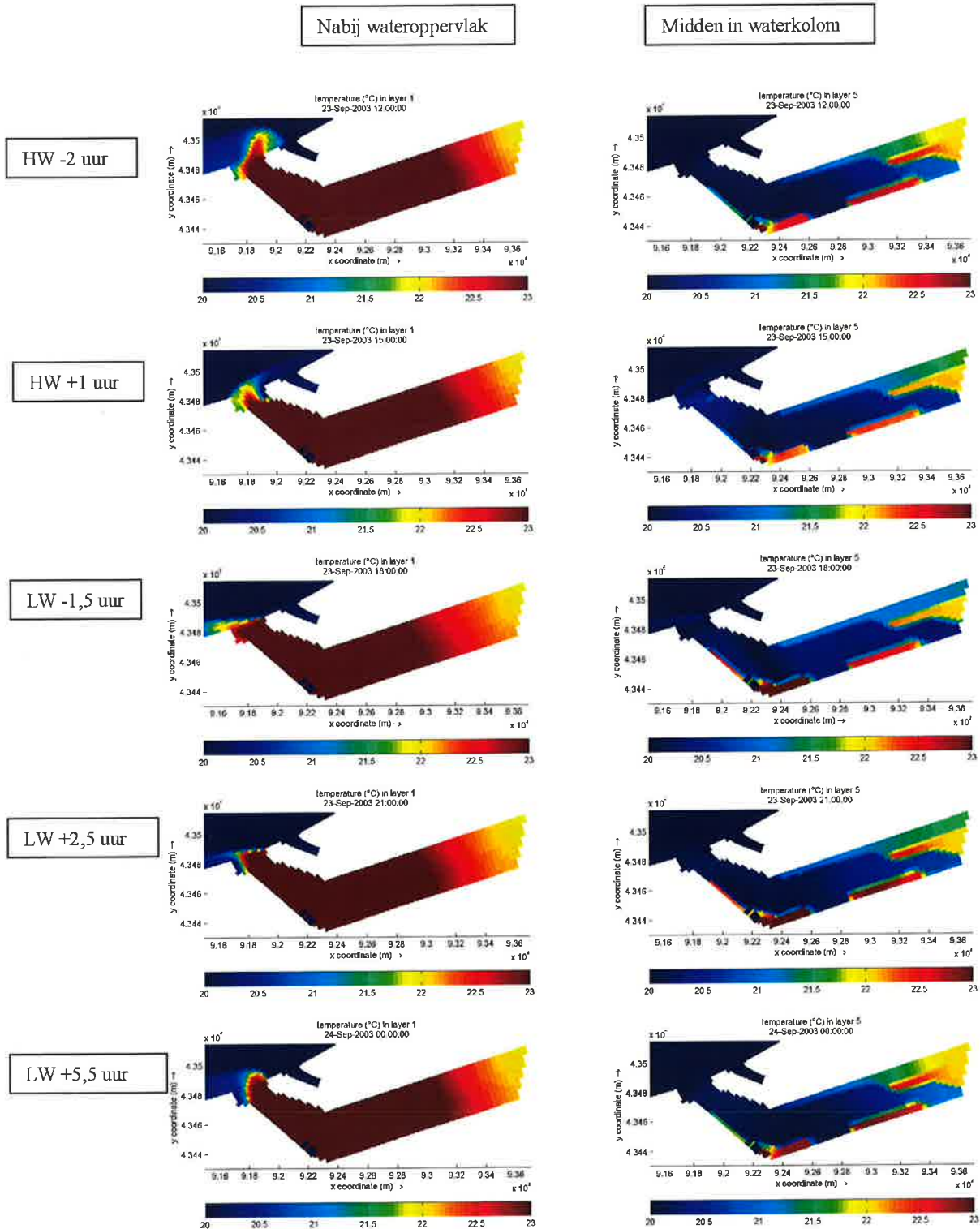


Figuur 3-8 – Momentopnamen gedurende een getij periode op 23 september 2003 van de temperatuurverdeling nabij het wateroppervlak en in het midden van de waterkolom in de Maashaven voor een simulatie van de toekomstige situatie (warmte last van 120 MW) met zout.

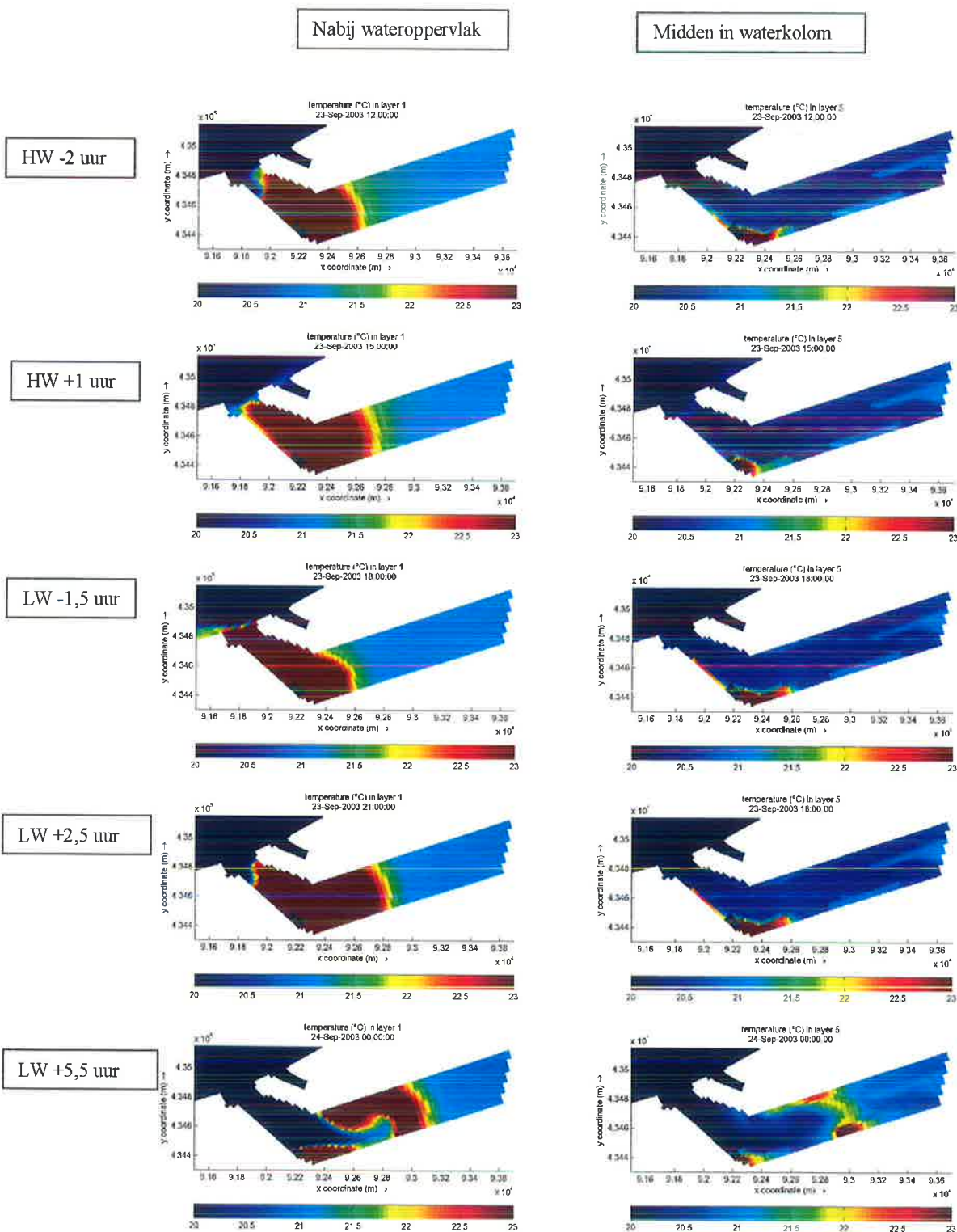
3.6 Modelresultaten warmtevracht 158 MW

Figuur 3-9 en Figuur 3-10 laten de resultaten zien voor de toekomstige situatie waarin alle stoom via de nood/dumpcondensator wordt afgevoerd, met een lozingsdebiet van $5,4 \text{ m}^3/\text{s}$ en een temperatuurverschil van $7 \text{ }^\circ\text{C}$. Het enige verschil met de situatie die is beschreven in Hoofdstuk 3.5 is een verhoogde warmtelast (158 MW ten opzichte van 120 MW) van ongeveer 32%. Dit komt dan ook tot uiting in de contouren van de temperatuur in beide figuren. Het gebied waarin de verhoging van de temperatuur nabij het water oppervlak meer dan 3°C is, is dan ook groter dan bij het vorige scenario. Het effect van de zoutstratificatie is ook nog steeds goed zichtbaar in Figuur 3-10.

Ondanks de verhoogde warmtelast is het effect op de Nieuw Maas nog zeer beperkt vanwege de goede menging van het water dat vanuit de Maashaven de Nieuwe Maas instroomt.



Figuur 3-9 – Momentopnamen gedurende een getij periode op 23 september 2003 van de temperatuurverdeling nabij het wateroppervlak en in het midden van de waterkolom in de Maashaven voor een simulatie van de toekomstige situatie (met turbine-uitval, warmtelast van 158 MW) zonder zout.



Figuur 3-10 – Momentopnamen gedurende een getij periode op 23 september 2003 van de temperatuurverdeling nabij het wateroppervlak en in het midden van de waterkolom in de Maashaven voor een simulatie van de toekomstige situatie (met turbine-uitval, warmtelast van 158 MW) met zout.

3.7 Overschrijdingsfrequenties en gemiddelde temperatuurverhoging

Voor de huidige en toekomstige lozingscondities, beide met en zonder zout, zijn over de laatste 7 dagen van de simulatieperiode de percentages van de verticale dwarsdoorsnede vanaf het lozingspunt berekend waarbinnen de temperatuurverhoging meer dan 1, 2 en 3°C bedraagt met de bijbehorende standaardafwijkingen als maat voor de variatie (Tabel 3-2 en Tabel 3-2). Tevens zijn ook de gemiddelde temperatuurverhogingen bepaald uit de modelresultaten. Deze staan in Tabel 3-4 en Tabel 3-5.

	huidig (41 MW) zonder zout	huidig (41 MW) met zout	toekomstig (97 MW) zonder zout	toekomstig (97 MW) met zout	toekomstig (120 MW) zonder zout	toekomstig (120 MW) met zout
$\Delta T > 1^\circ\text{C}$	14,5 (0,5)	7,7 (1,9)	17,8 (2,4)	12,7 (3,3)	19,1 (2,2)	13,7 (3,9)
$\Delta T > 2^\circ\text{C}$	10,8 (1,9)	6,2 (1,0)	13,6 (0,6)	8,0 (2,2)	15,2 (2,2)	9,4 (2,8)
$\Delta T > 3^\circ\text{C}$	5,4 (0,6)	5,2 (0,7)	10,4 (2,8)	5,3 (1,4)	12,8 (1,5)	6,4 (1,8)

Tabel 3-2 – Gemiddelde percentage van de dwarsdoorsnede waarin de aangegeven temperatuurverhoging wordt overschreden (gemiddeld over de laatste 7 dagen van de simulatieperiode) en de bijbehorende standaardafwijking als maat voor de variatie, voor de huidige en toekomstige lozingscondities, beide met en zonder zout.

	toekomstig (158 MW) zonder zout	toekomstig (158 MW) met zout
$\Delta T > 1^\circ\text{C}$	20,8 (2,3)	15,6 (5,0)
$\Delta T > 2^\circ\text{C}$	17,0 (2,5)	11,6 (3,5)
$\Delta T > 3^\circ\text{C}$	13,8 (1,0)	8,2 (2,7)

Tabel 3-3 – Gemiddelde percentage van de dwarsdoorsnede waarin de aangegeven temperatuurverhoging wordt overschreden (gemiddeld over de laatste 7 dagen van de simulatieperiode) en de bijbehorende standaardafwijking als maat voor de variatie, voor toekomstige lozingsconditie (turbine-uitval), met en zonder zout.

	huidig (41 MW) zonder zout	huidig (41 MW) met zout	toekomstig (97 MW) zonder zout	toekomstig (97 MW) met zout	toekomstig (120 MW) zonder zout	toekomstig (120 MW) met zout
$\Delta T_{\text{gem}} (^\circ\text{C})$	0.5	0.2	0.9	0.5	1,0	0.6

Tabel 3-4 – Gemiddelde temperatuurverhoging (tov. achtergrondtemperatuur) van de gehele Maashaven over de laatste 7 dagen van de simulatieperiode voor de huidige en toekomstige lozingscondities, beide met en zonder zout.

	toekomstig (158 MW) zonder zout	toekomstig (158 MW) met zout
$\Delta T_{\text{gem}} (^\circ\text{C})$	1,2	0.8

Tabel 3-5 – Gemiddelde temperatuurverhoging (tov. achtergrondtemperatuur) van de gehele Maashaven over de laatste 7 dagen van de simulatieperiode voor de toekomstige lozingsconditie (turbine-uitval), met en zonder zout.

Tabellen 3-2 tot en met 3-5 laten zien dat zoutstratificatie een gunstig effect heeft op de warmteuitwisseling met de Nieuw Maas. Het effect van de toekomstige lozingscondities, met een verdubbeling van de warmtelast ten opzichte van de huidige lozing, vertaalt zich ruwweg ook in een verdubbeling van de gemiddelde temperatuurverhoging. Dit geldt met name voor lage warmtelasten. Bij hoge warmtelasten is de relatieve temperatuurverhoging minder dan de relatieve verhoging van de warmtelast.

Seizoensafhankelijkheid van achtergrondtemperatuur wordt niet meegenomen aangezien de koelwaterpluim temperaturen als “excess temperaturen”, ofwel temperatuur toename ten opzichte van de achtergrond, gemodelleerd worden.

De relatief lage overschrijdingspercentages in Tabel 3-1 en 3-2 geven aan dat de warmwaterpluim als een vrij dunne laag over het oppervlakte van de Maashaven verspreidt. Dit blijkt ook uit de temperatuurverdeling van de dwarsdoorsnede vanaf het lozingspunt (Appendix A).

4 Conclusies

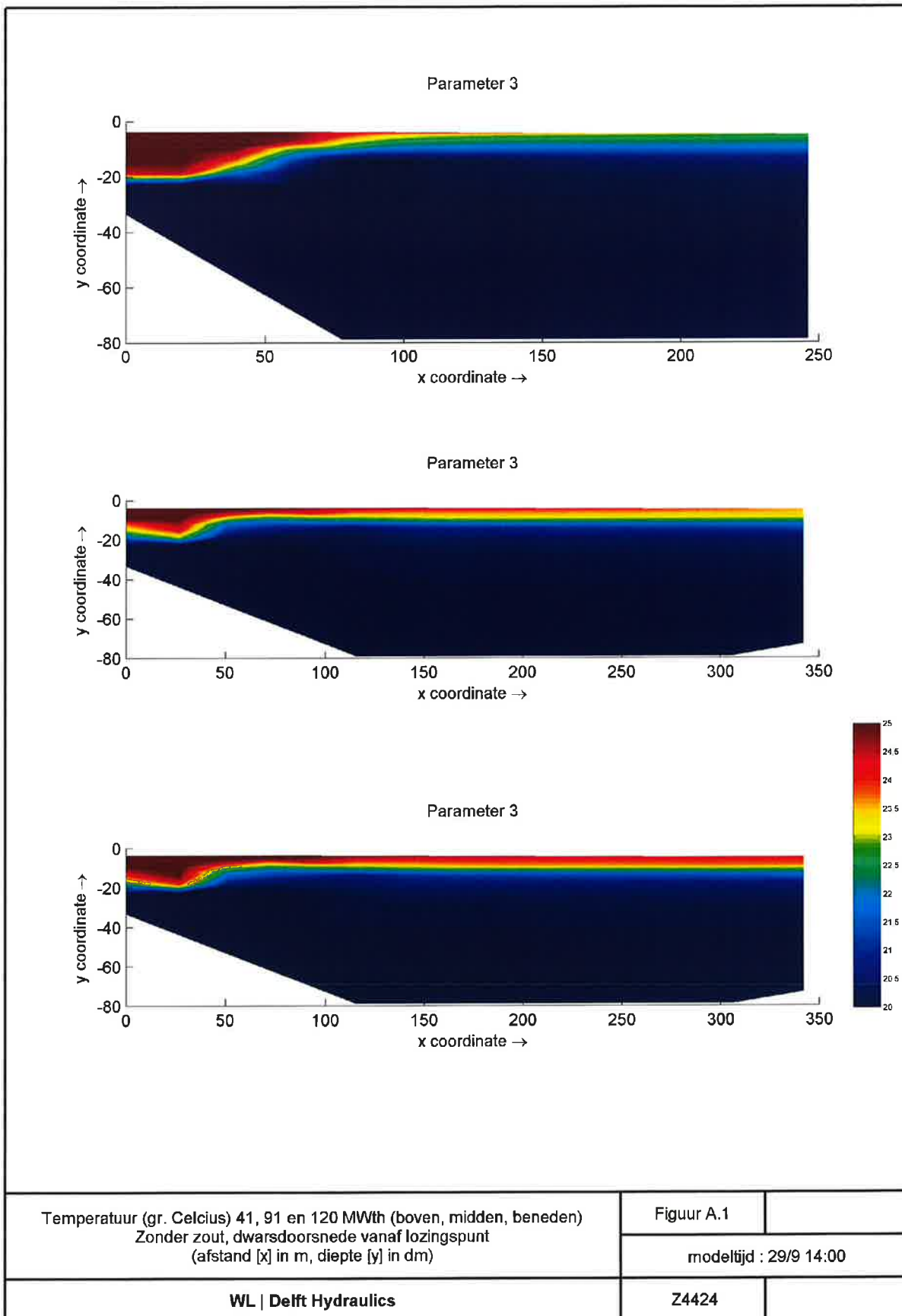
De studie van de warmtelozing van de AVR-Brielselaan heeft aangetoond dat:

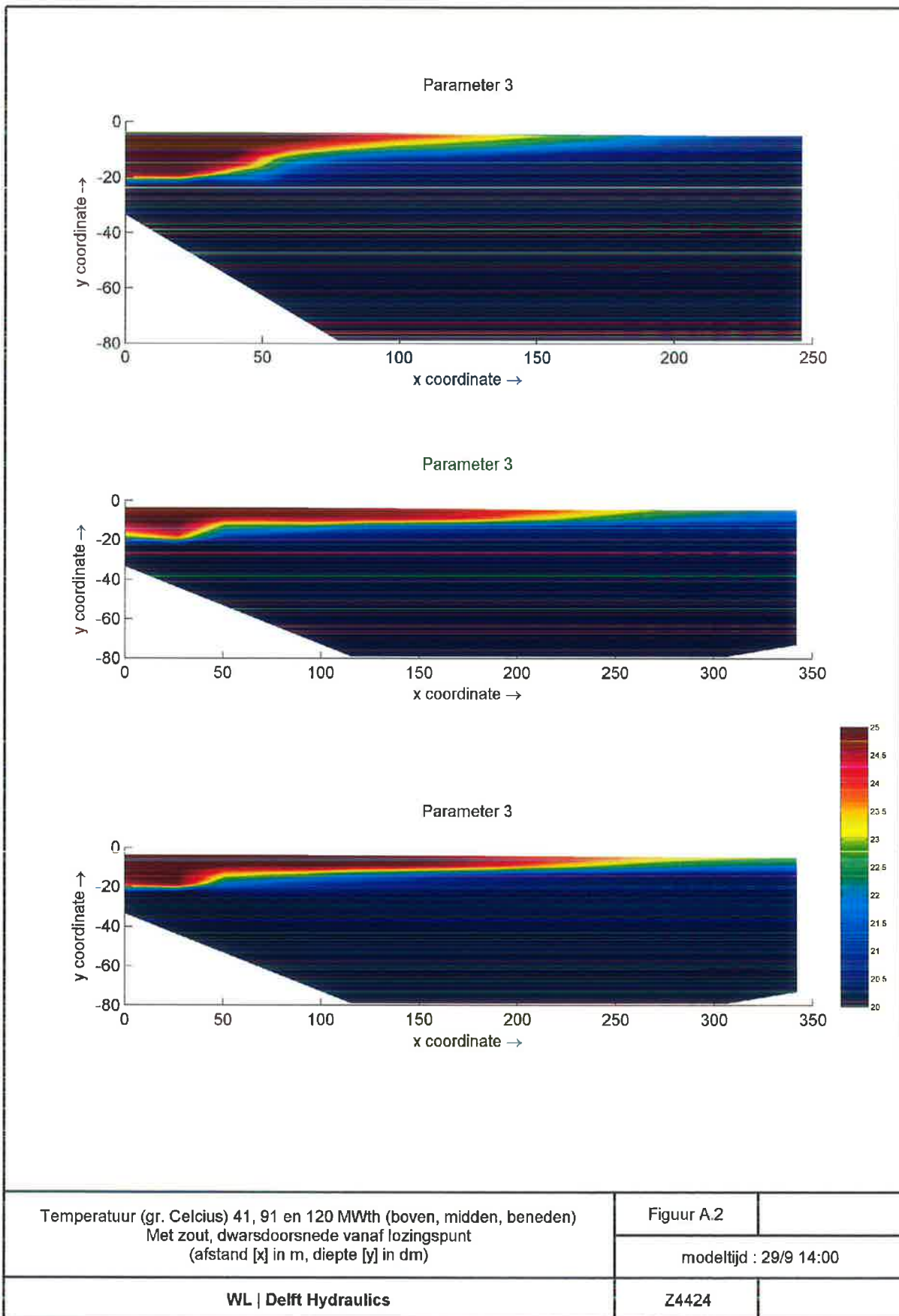
- het model goed vergelijkt met het beschikbare infraroodbeeld van de warmtepluim, en dat de pluimverspreiding voor een belangrijk deel door aangemeerde schepen wordt beïnvloed;
- het ontstaan van een zoutstratificatie door lage rivierafvoer en/of een windopzet vanuit de Noordzee een verbetering van de uitwisseling tussen de Maashaven en de Nieuwe Maas tot gevolg heeft. Dit zorgt voor een vermindering van de temperatuureffecten ten gevolge van de AVR warmtelozing;
- de diverse gemodelleerde lozingsscenario's, met een warmtelast van respectievelijk 97MW en 120MW (worst-case) en tijdens turbine-uitval, zonder eigen energieverbruik, met 158MW, laten een warmtepluim zien die zich beperkt tot de Maashaven zonder een significant effect op de temperatuur in de Nieuwe Maas;
- voor een verticale dwarsdoorsnede die loodrecht vanuit het lozingspunt wordt gelegd het percentage van de natte doorsnede, waarin de temperatuurverhoging meer dan 1 °C is, gemiddeld 20,8% is (voor de hoogste warmtelast die in deze studie is onderzocht). Dit betekent dat de zogenaamde 25% norm in het kader van de CIW koelwaterrichtlijn bij een achtergrond van 27°C niet wordt overschreden.
- de verhoging van de achtergrondtemperatuur in de Maashaven bij een maximale warmtelast van 158 MW ongeveer 1,2°C is. Wanneer de achtergrondtemperatuur minder dan 26,8°C is, voldoet de lozing aan de CIW koelwaterrichtlijn.
- de huidige en toekomstige lozing aan de criteria van de CIW richtlijnen voldoen bij een achtergrondtemperatuur die 27°C of lager is.

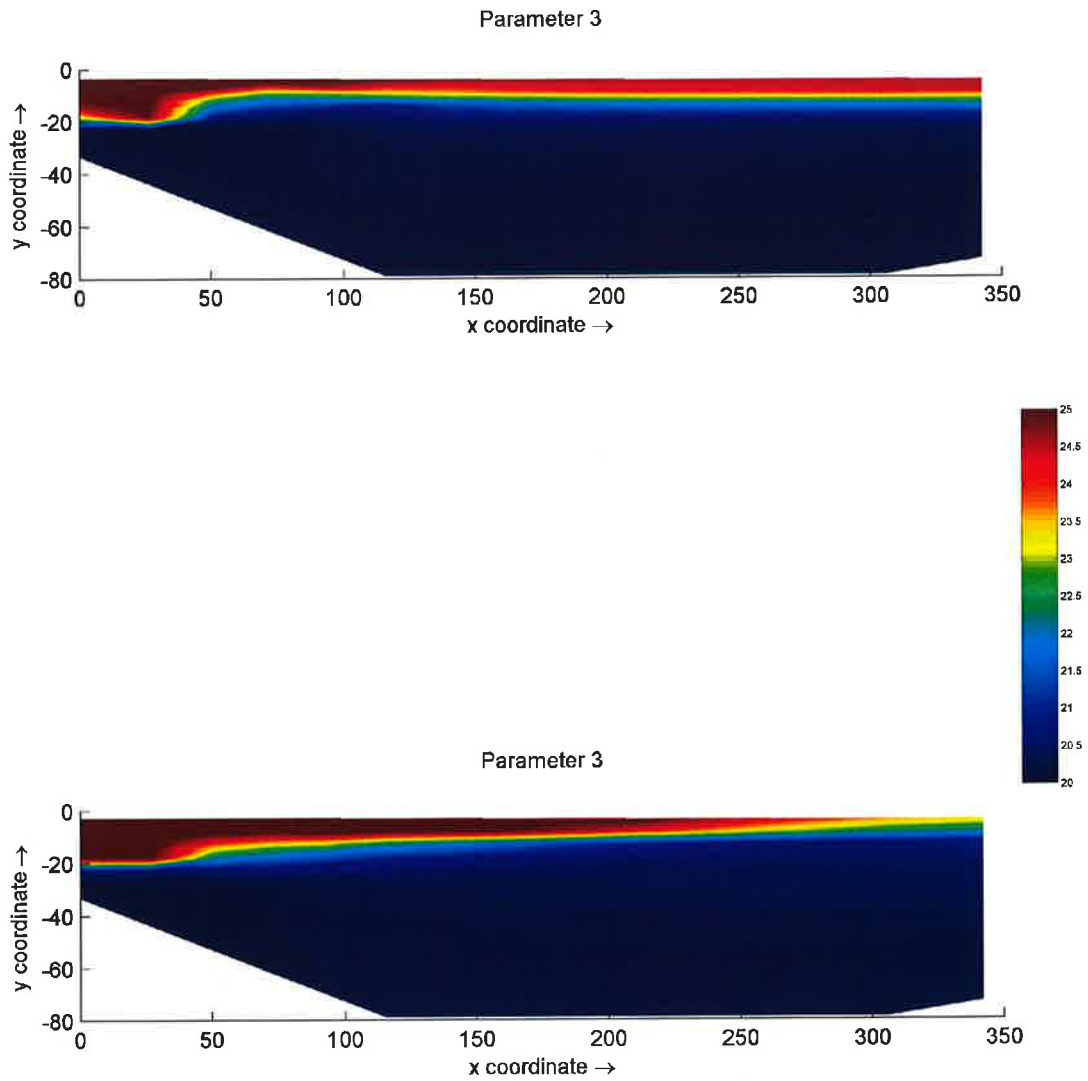
Literatuur

- [1] WL | Delft Hydraulics, 2006. Verificatie SOBEK landelijk temperatuurmodel. Boderie, Meijers en Peñaillillo, Rapportnummer Q4161, oktober 2006.
- [2] KNMI, 2005. Zout, zouter, zoutst. Statistiek van de externe verzilting in Midden-West Nederland. Jules J. Beersma, T. Adri Buishand, Sacha de Goederen en Pieter Jacobs, KNMI-publicatie; 199-III.
- [3] Ministerie van Verkeer en Waterstaat, 2004. CIW Beoordelingssystematiek warmtelozingen, november 2004.

A Modelresultaten







Temperatuur (gr. Celcius), 158MWth Zonder zout (boven), met zout (onder), dwarsdoorsnede vanaf lozingspunt (afstand [x] in m, diepte [y] in dm)	Figuur A.3	
	modeltijd : 29/9 14:00	
WL DELFT HYDRAULICS	Z4337	