




	Umgebung	
TES-Proj.- Nr.: TES-WHV-VGN	FSRU Wilhelmshaven: Bericht über die Ausbreitung von Temperaturfahnen	Dok.- Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC.2016_07
TES-Code: TES-WHV-VGN-FSRU		Seite 1 von 45

# FSRU Wilhelmshaven: Bericht über die Ausbreitung von Temperaturfahnen

Achte Ausgabe	07	24.08.2023	A. BREUGEM	B. Decrop	A. Bakhtiari	
Siebte Ausgabe	06	18.08.2023	A. BREUGEM	B. Decrop	A. Bakhtiari	ISO-certified translation
Sechste Ausgabe	05	17.05.2023	N. Badano	B. Decrop	J. de Groot	
Fünfte Ausgabe	04	05.05.2023	N. Badano	B. Decrop	T. Koutrouveli	
Vierte Ausgabe	03	21.02.2023	T. Wolf	B. Decrop	J. de Groot	
Dritte Ausgabe	02	31.01.2023	T. Wolf	B. Decrop	J. de Groot	
Zweite Ausgabe	01	09.12.2022	A. Breugem	B. Decrop	J. de Groot	
Erste Ausgabe	00	05.12.2022	A. Breugem	B. Decrop	J. de Groot	
<b>Status</b>	<b>Ausgabe</b>	<b>Datum</b>	<b>Erstellt von</b>	<b>Geprüft von</b>	<b>Genehmigt von</b>	<b>Anmerkung</b>



 <b>IMDC TRACTEBEL</b>  	Umgebung	 <b>IMDC</b>
TES-Proj.- Nr.: TES-WHV-VGN	FSRU Wilhelmshaven: Bericht über die Ausbreitung von Temperaturfahnen	Dok.- Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC.2016_07
TES-Code: TES-WHV-VGN-		Seite 2 von 45

## Zusammenfassung des Berichts



Dieser Bericht behandelt die Studie über die Ausbreitung der Kalt- und Warmwasserfahnen, die von der FSRU ausgehen. Die Studie stützt sich auf ein Nah- und ein Fernfeldmodell. Bei der Nahfeldmodellierung wurde eine einfache Lagrange-Fahne verwendet. Die Fernfeldmodellierung stützt sich auf ein TELEMAT-3-D-Modell des Weser-Ästuars und des Jadebusens für eine Reihe von Spring-Nipp-Zeiträumen (84 Tage).

Es wurden drei Szenarien untersucht: ein Sommerszenario (Freisetzung nur von Heizwasser – kälter als das umgebende Wasser), ein Winterszenario (Freisetzung nur von Kühlwasser – wärmer als das umgebende Wasser) und ein kombiniertes Szenario.

Wie das Nahfeldmodell zeigt, vermischt die Heizwasserfahne sich rasch und sinkt schnell zum Meeresboden ab. Die Kühlwasserfahne hingegen vermischt sich weitaus langsamer. Dennoch bewegt sie sich abwärts. Denn die anfängliche Abwärtsgeschwindigkeit wirkt sich stärker aus als der aufwärts gerichtete Auftrieb der Warmwasserfahne.

Im Fernfeldmodell zeigte sich, dass die Fahnen sich nahe der FSRU in Ebb- und Flutfließrichtung verbreiten, und dabei eher schmal bleiben. Weiter entfernt von diesen Richtungen kommt es zu leichten Temperaturunterschieden. Die Ausbreitung wird von den Untiefen östlich des Projektstandorts aufgehalten. In qualitativer Hinsicht ähnelt sich das Verhalten der Kalt- und der Warmwasserfahne. Quantitativ besehen ist die Kaltwasserfahne jedoch größer. Dies liegt an der größeren Wassermenge, die in Form dieser Fahne freigesetzt wird. Bei der Kaltwasserfahne zeigten sich Temperaturunterschiede von mehr als 0,5 [°C] innerhalb von 400 m von der Mitte der FSRU. Temperaturunterschiede über 0,1 [°C] wurden nur in einem Umkreis von 5000 m von der Mitte der FSRU angetroffen. Bei der Warmwasserfahne zeigten sich Temperaturunterschiede von mehr als 0,5 [°C] innerhalb von 250 m von der Mitte der FSRU. Temperaturunterschiede über 0,1 [°C] wurden nur in einem Umkreis von 2500 m von der Mitte der FSRU angetroffen. Der maximale Momentan Temperatur in diesem Bereich beträgt ca. 2,5 [°C] und tritt sehr nahe an der FSRU auf. Der höchste Temperaturunterschied, der aus der 95.-Perzentilkarte hervorgeht, beträgt lediglich 1,5[°C].







	Umgebung	
TES-Proj.- Nr.: TES-WHV-VGN	FSRU Wilhelmshaven: Bericht über die Ausbreitung von Temperaturfahnen	Dok.- Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC.2016_07
TES-Code: TES-WHV-VGN-		Seite 3 von 45

## Inhaltsverzeichnis



<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>5</b>
1.1	Der Auftrag .....	5
1.2	Gegenstand des Berichts .....	5
1.3	Übersicht über den Bericht.....	6
<b>2</b>	<b>Modell-Aufbau .....</b>	<b>9</b>
2.1	Modell-Aufbau .....	9
2.1.1	Software .....	9
2.1.2	Datengrundlage .....	9
2.1.3	Gebiet und Bathymetrie (Gewässerbodenvermessung) .....	10
2.1.4	Physikalische und numerische Einstellungen des hydrodynamischen Modells.....	12
2.1.5	Modellzeitraum .....	13
2.2	Nahfeldmodellierung der Temperaturfahne .....	13
2.3	Fernfeldmodellierung der Temperaturfahne.....	14
<b>3</b>	<b>Szenarien.....</b>	<b>15</b>
3.1	Sommerszenario .....	15
3.2	Winterszenario .....	16
3.3	Kombiniertes Sommerszenario .....	16
<b>4</b>	<b>Ergebnisse .....</b>	<b>18</b>
4.1	Szenario 1: sommerliche Bedingungen .....	18
4.1.1	Nahfeldverhalten.....	18
4.1.2	Fernfeldverhalten – Temperatur .....	19
4.2	Szenario 2: winterliche Bedingungen .....	23
4.2.1	Nahfeldverhalten.....	23
4.2.2	Fernfeldverhalten – Temperatur .....	25
4.3	Szenario 3: kombiniertes Szenario .....	29



 <b>IMDC TRACTEBEL</b>  	Umgebung	 <b>IMDC</b>
TES-Proj.- Nr.: TES-WHV-VGN	FSRU Wilhelmshaven: Bericht über die Ausbreitung von Temperaturfahnen	Dok.- Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC.2016_07
TES-Code: TES-WHV-VGN-		Seite 4 von 45

4.3.1	Nahfeldverhalten.....	29
4.3.2	Fernfeldverhalten – Temperatur .....	29
<b>5</b>	<b>Schlussfolgerungen .....</b>	<b>35</b>
<b>6</b>	<b>Literaturangaben .....</b>	<b>36</b>



	Umgebung	
TES-Proj.- Nr.: TES-WHV-VGN	FSRU Wilhelmshaven: Bericht über die Ausbreitung von Temperaturfahnen	Dok.- Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC.2016_07
TES-Code: TES-WHV-VGN-		Seite 5 von 45

# 1 Einleitung

## 1.1 Der Auftrag

Das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) ist im September 2022 an die Tree Energy Solutions GmbH (TES) herangetreten und hat die gemeinsame Realisierung eines schwimmenden Flüssigerdgas (Liquefied Natural Gas – LNG)-Importterminals (Floating Storage and Regasification Unit – FSRU) angefragt. Das BMWK hat dazu im Februar 2023 die FSRU „Excelsior“ für maximal 60 Monate gechartert. Das Projekt soll in Kooperation mit E.ON und ENGIE realisiert werden. Als Vorhabenträgerin wurde die „FSRU Wilhelmshaven GmbH“ gegründet.

Der KUNDE hat einen Vertrag mit IMDC geschlossen. Dieser sieht technische Unterstützung durch IMDC für die Meeresarbeiten sowie für Modellierungsstudien vor, die in den Genehmigungsantrag einfließen werden.





Abbildung 1-1: Übersicht über das Projektgebiet (Quelle: Google Earth)

## 1.2 Gegenstand des Berichts

Dieser Bericht behandelt die Studie über die Temperaturfahnen, die aus der Freisetzung von Heiz- und Kühlwasser von der FSRU resultieren. Das Nahfeldverhalten der Fahnen wurde mittels eines einfachen Lagrange-Modells berechnet. Die Ergebnisse dieser Simulationen dienten dann als Input für ein Fernfeldmodell in TELEMAC-3D, das die Ausbreitung der Fahne im Jadebusen darstellt.



	Umgebung	
TES-Proj.- Nr.: TES-WHV-VGN	FSRU Wilhelmshaven: Bericht über die Ausbreitung von Temperaturfahnen	Dok.- Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC.2016_07
TES-Code: TES-WHV-VGN-		Seite 6 von 45

### 1.3 Übersicht über den Bericht

In Kapitel 2 wird zunächst der Modellaufbau erläutert. Dazu werden das Rasternetz, die Einstellungen und der Simulationszeitraum beschrieben. In Kapitel 3 folgt eine Beschreibung der Modellierungsszenarien der Temperaturfahne. Bei den Szenarien handelt es sich um:

- ein Sommerszenario – Freisetzungen nur mit einer Wassertemperatur, die niedriger als die des umgebenden Wassers ist.
- ein Winterszenario – Freisetzungen nur mit einer Wassertemperatur, die höher als die des umgebenden Wassers ist.
- ein kombiniertes Szenario – Freisetzungen beider Wassertypen (unter sommerlichen Bedingungen).





Die Ergebnisse der drei Szenarien werden in Kapitel 4 vorgestellt. Dabei werden jeweils erst die Ergebnisse der schematisierten Nahfeldberechnung unter Verwendung eines Lagrange-Fahnenmodells vorgestellt. Anschließend folgt die Fernfeldberechnung für die Wassertemperatur mittels TELEMAC-3-D-Modell. Der Bericht endet mit einigen kurzen Schlussfolgerungen.

### 1.4 Definierte Begriffe und Abkürzungen

Die großgeschriebenen Begriffe und Abkürzungen in diesem Dokument beziehen sich auf die in der folgenden Tabelle definierten Begriffe:





Begriff	Beschreibung
ATON	Navigationshilfen
Behörde	Zertifizierungsbehörde, die für den betreffenden Sektor zuständig ist
Entwurfsgrundlage	Ein Handbuch, das sowohl funktionale Anforderungen als auch technische Anforderungen und Entwurfsbedingungen für die Gestaltung der Anforderungen des Kunden enthält. Die Entwurfsgrundlage gilt als lebendes Dokument, was bedeutet, dass während des Entwurfsprozesses Änderungen bzw. Verbesserungen (z. B. aufgrund fortschreitender Erkenntnisse in der Detailentwurfsphase) vorgenommen werden können.
BD	Brustdalbe



 <b>IMDC TRACTEBEL</b>  	Umgebung	 <b>IMDC</b>
TES-Proj.- Nr.: TES-WHV-VGN	FSRU Wilhelmshaven: Bericht über die Ausbreitung von Temperaturfahnen	Dok.- Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC.2016_07
TES-Code: TES-WHV-VGN-		Seite 7 von 45



Begriff	Beschreibung
Kunde	ENGIE Deutschland AG
Berater	International Marine Dredging Consultants (IMDC), die als Ingenieur des Bauherrn für das Projekt ernannt wurden.
Auftragnehmer	Auftragnehmer ist ein erfolgreiches Unternehmen/eine erfolgreiche Partei, das/die den Vertrag über die Ausführung der Meeresarbeiten abschließt und rechtlich daran gebunden ist
FSRU	Schwimmende Speicher- und Regasifizierungseinheit (Floating Storage and Regasification Unit). Die „Excelsior“, die Excelerate Energy gehört, wird für dieses Projekt bereitgestellt.
GOTM	Vertikales Turbulenzmodell
Grüner Hub	Mit grünem Wasserstoff im Mittelpunkt ist der Green Hub ein definierter Standort, der für umweltfreundliche Gasterminals vorgesehen ist, die zunehmend für die Importe von nicht fossilem grünem Gas dienen werden, das klimaneutral und ein Übergangsenergieträger ist.
HAT	Höchste astronomische Tide
LAT	Niedrigste astronomische Tide
LNG	Verflüssigtes Erdgas
LNGC	LNG-Tanker
LOA	Gesamtlänge
MSL	Mittlerer Meeresspiegel (Mean Sea Level)
QRA	Qualitative Risikobewertung
SEL	Schallexpositionspegel (Sound Exposure Level)



 <b>IMDC TRACTEBEL</b>  	Umgebung	 <b>IMDC</b>
TES-Proj.- Nr.: TES-WHV-VGN	FSRU Wilhelmshaven: Bericht über die Ausbreitung von Temperaturfahnen	Dok.- Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC.2016_07
TES-Code: TES-WHV-VGN-		Seite 8 von 45

Begriff	Beschreibung
Kurzzeitprojekt	Besteht nur aus dem Bau und Betrieb des Liegeplatzes Nr. 3 für einen Zeitraum von höchstens 5 Jahren. Die FSRU wird LNG von einem LNG-Tanker erhalten und der Transport an Land wird über eine Unterwasserpipeline erfolgen.
(Der) Standort	Dies bezieht sich auf den Projektstandort, nämlich den Kundenstandort in Wilhelmshaven.
SKN	Seekartennull; die Tiefenangaben beziehen sich auf das Seekartennull (SKN) als Tiefenhorizont, hier das Niveau des niedrigsten Gezeitenwasserstandes (LAT)
TES	Tree Energy Solutions (Kundenpartner)



	Umgebung	
TES-Proj.- Nr.: TES-WHV-VGN	FSRU Wilhelmshaven: Bericht über die Ausbreitung von Temperaturfahnen	Dok.- Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC.2016_07
TES-Code: TES-WHV-VGN-		Seite 9 von 45

## 2 Modell-Aufbau

### 2.1 Modell-Aufbau

Beim Modell werden dieselben Rasternetze und Einstellungen wie bei der hydrodynamischen Modellierungsstudie verwendet („TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC-2014.06\_Bericht über die Umgebungsverhältnisse“). Der Vollständigkeit halber werden hier die wichtigsten Einstellungen wiederholt.

#### 2.1.1 Software



Für die hydrodynamischen Berechnungen wird die Software TELEMAC-3D (v8p1 goblinshark) eingesetzt. Diese löst die dreidimensionalen Flachwassergleichungen (mit oder ohne Hypothese des hydrostatischen Drucks) und die Advektions-Diffusions-Gleichungen für intrinsische Größen (d. h. Salzgehalt, Sedimentkonzentration). TELEMAC-3D verwendet die Flachwassergleichungen, wie sie zuerst von Barré de Saint-Venant hergeleitet wurden, unter Verwendung einer Finite-Elemente-Methode, bei der alle Strömungsvariablen an den Knotenpunkten eines Rasternetzes liegen, das aus Prismen mit dreieckiger Grundfläche besteht. Die wichtigsten Ergebnisse sind für jeden Punkt des 3D-Rasternetzes die Geschwindigkeit in allen drei Richtungen und die Konzentrationen der bewegten Stoffe. Das Hauptergebnis auf dem Rasternetz der Wasseroberfläche ist der Wasserstand.

#### 2.1.2 Datengrundlage

Für diese Studie werden Daten aus verschiedenen Quellen verwendet. Für die Bathymetrie werden Daten aus folgenden Quellen bezogen:

- Daten von Emodnet 2020
  - Auflösung: 150 × 150 [m]
  - Quelle: <https://www.emodnet-bathymetry.eu/>
- „DGM-W\_2018\_Jade\_5x5m“
  - Auflösung: 5 × 5 [m]
  - Quelle: [https://www.kuestendaten.de/Tideweser/DE/Service/Kartenthemen/Kartenthemen\\_node.html](https://www.kuestendaten.de/Tideweser/DE/Service/Kartenthemen/Kartenthemen_node.html)
- „DGM-W\_2012\_Unterweser\_Nebenfluesse\_5x5m“
  - Auflösung: 5 × 5 [m]
  - Quelle: [https://www.kuestendaten.de/Tideweser/DE/Service/Kartenthemen/Kartenthemen\\_node.html](https://www.kuestendaten.de/Tideweser/DE/Service/Kartenthemen/Kartenthemen_node.html)
- „014\_Zufahrt HES und LNG Anleger\_5 m Grid\_19.24.01.22\_SKN“
  - Auflösung: 5 × 5 [m]
  - Quelle: „vom Kunden bereitgestellt“



	Umgebung	
TES-Proj.- Nr.: TES-WHV-VGN	FSRU Wilhelmshaven: Bericht über die Ausbreitung von Temperaturfahnen	Dok.- Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC.2016_07
TES-Code: TES-WHV-VGN-		Seite 10 von 45

Für die Grenzbedingungen wurden Wasserstandsdaten hinzugezogen:

- „Küstendaten“ (Datenportal) der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV).

### 2.1.3 Gebiet und Bathymetrie (Gewässerbodenvermessung)

Das Modellgebiet umfasst das gesamte Gebiet der Jademündung und einen großen Teil des Weser-Ästuars bis Bremen (Abbildung 2-1 und Abbildung 2-2). Beim Festlegen der Abmessungen des Modellgebiets wurde besonders darauf geachtet, sicherzustellen, dass dessen offene Grenze (in Ebberichtung) hinreichend weit von der Temperaturquelle entfernt ist. Ziel war, die Ebbe-Flut-Bewegung der Fahne im Modell zu erfassen, und zu verhindern, dass Wärmeenergie aus dem Modellgebiet über seine offenen Grenzen verloren geht. Die Anzahl der Rechenknoten im Modellrasternetz variiert je nach Szenario. Grundsätzlich besteht es jedoch aus mehr als 150.000 Knoten in der Horizontalen, mit einer Elementgröße von 8 bis 1000 m. Für die vertikale Diskretisierung werden elf vertikale Knoten verwendet.

Zur Modellierung der Temperaturfahne wurden die folgenden Bauwerke im Jade-Weser-Modell berücksichtigt:

- Wendebecken (gemäß Lageplan), erzielt durch Anpassung der Bathymetrie auf –16,955 [m MSL].
- FSRU, umgesetzt durch eine Neudefinition des Berechnungsrasters um die Umrisslinie der FSRU. Hier wird die FSRU als eine Struktur schematisiert, die sich über die gesamte Wassertiefe erstreckt. In echt kann das Meerwasser unterhalb der FSRU durchströmen. Die Modellierung ohne diese Durchströmung führt zu einem konservativen Ansatz.

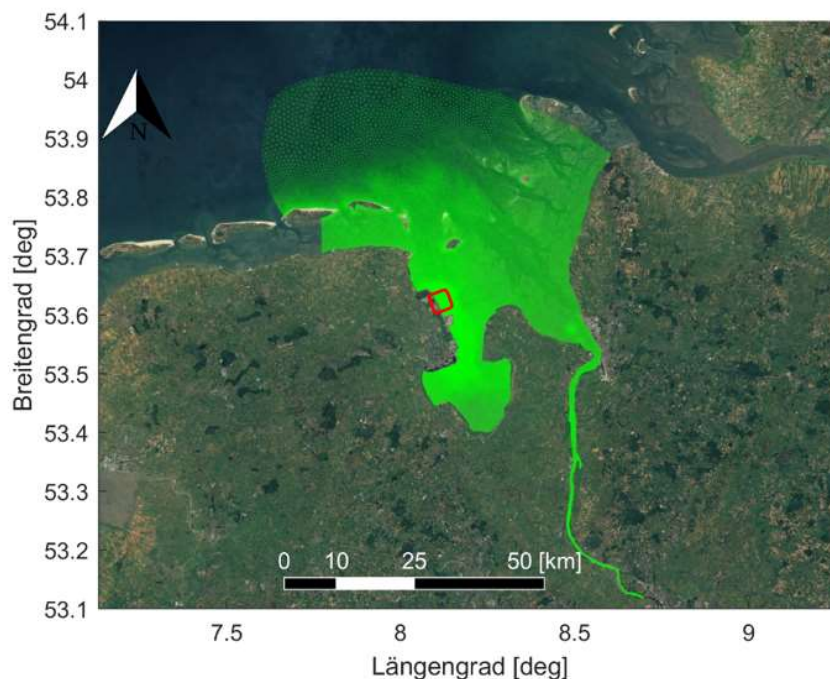




Abbildung 2-1 Berechnungsrasternetz des Jade-Weser-Modells.



	Umgebung	
TES-Proj.- Nr.: TES-WHV-VGN	FSRU Wilhelmshaven: Bericht über die Ausbreitung von Temperaturfahnen	Dok.- Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC.2016_07
TES-Code: TES-WHV-VGN-		Seite 11 von 45

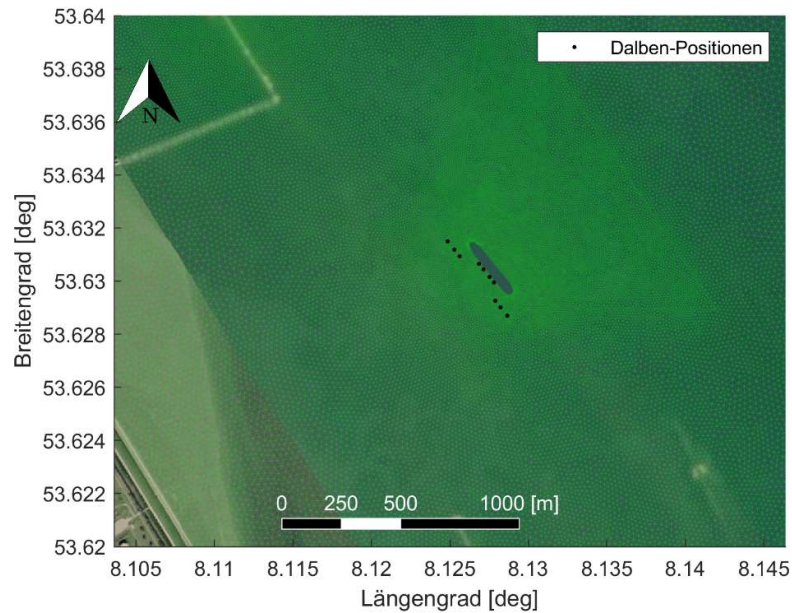


Abbildung 2-2 Vergrößerte Darstellung des Berechnungsrasternetzes für das Jade-Weser-Modell in der Nähe des Projektstandorts.

Die Modell-Bathymetrie ist dargestellt in Abbildung 2-3 und Abbildung 2-4. Die Bathymetrie des Wend Beckens wurde gemäß Lageplan erzielt.

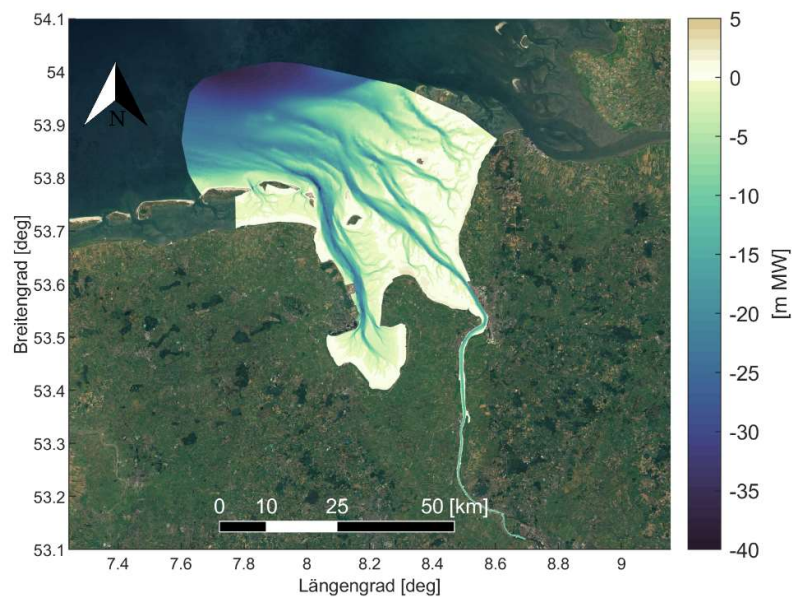




Abbildung 2-3 Modell-Bathymetrie [m MSL] des Jade-Weser-Modells.



	Umgebung	
TES-Proj.- Nr.: TES-WHV-VGN	FSRU Wilhelmshaven: Bericht über die Ausbreitung von Temperaturfahnen	Dok.- Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC.2016_07
TES-Code: TES-WHV-VGN-		Seite 12 von 45

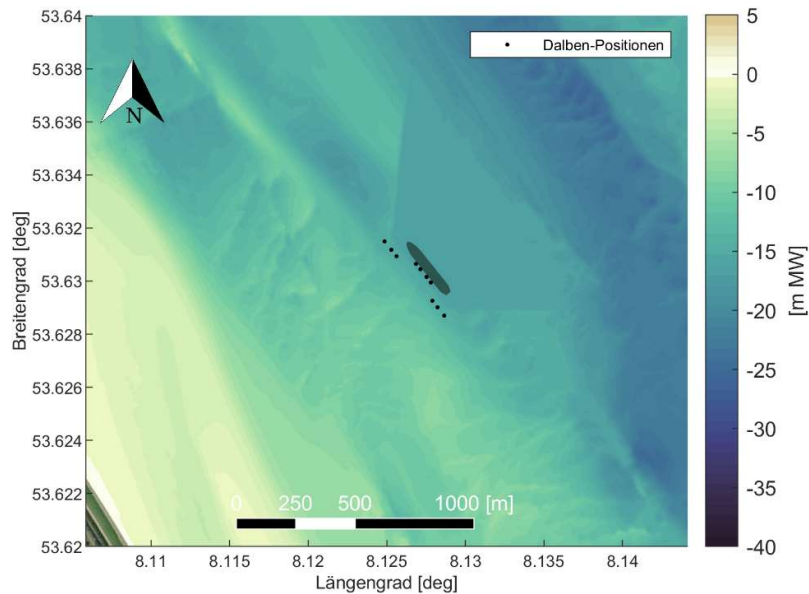


Abbildung 2-4 Vergrößerte Darstellung der Modell-Bathymetrie [m MSL] des Jade-Weser-Modells in der Nähe des Projektstandorts.



#### 2.1.4 Physikalische und numerische Einstellungen des hydrodynamischen Modells

Eine Liste der physikalischen und numerischen Parameter des hydrodynamischen Modells ist in Tabelle 2-1 aufgeführt.

Tabelle 2-1 Physikalische und numerische Einstellungen des hydrodynamischen Modells

Parameter	Wert
Zeitraster	30 s
Anzahl der vertikalen Knoten	11
Advektion-Diffusion von Indikatoren	Ein
Auswirkung des Salzgehalts	Ein
Rauigkeitsgesetz	Nikuradse-Gesetz (räumlich variierendes Rauigkeitsfeld)
Horizontales Turbulenzmodell	4: Smagorinsky
Vertikales Turbulenzmodell	6: K-Epsilon-Modell (GOTM)
Coriolis-Koeffizient	Festwert: $1,17443 \cdot 10^{-4}$
Meteorologische Einflussfaktoren	Einschließlich des Surge-Signals an der Offshore-Wasserstandsgrenze



	Umgebung	
TES-Proj.- Nr.: TES-WHV-VGN	FSRU Wilhelmshaven: Bericht über die Ausbreitung von Temperaturfahnen	Dok.- Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC.2016_07
TES-Code: TES-WHV-VGN-		Seite 13 von 45

### 2.1.5 Modellzeitraum

Es wurde ein 12-wöchiger Zeitraum modelliert, der am 22. Juni 2018 begann. Angesichts diese langen Simulationsfensters kann zunächst einmal die Wassertemperatur Gleichgewichtswerte erreichen. Außerdem werden die Auswirkungen mehrerer Spring-Nipp-Zyklen mit unterschiedlichen Tidenhubräumen und Surge-Ereignissen berücksichtigt. Die Wasserstände und Gezeitenamplituden im Simulationszeitraum sind in Abbildung 2-5 dargestellt.

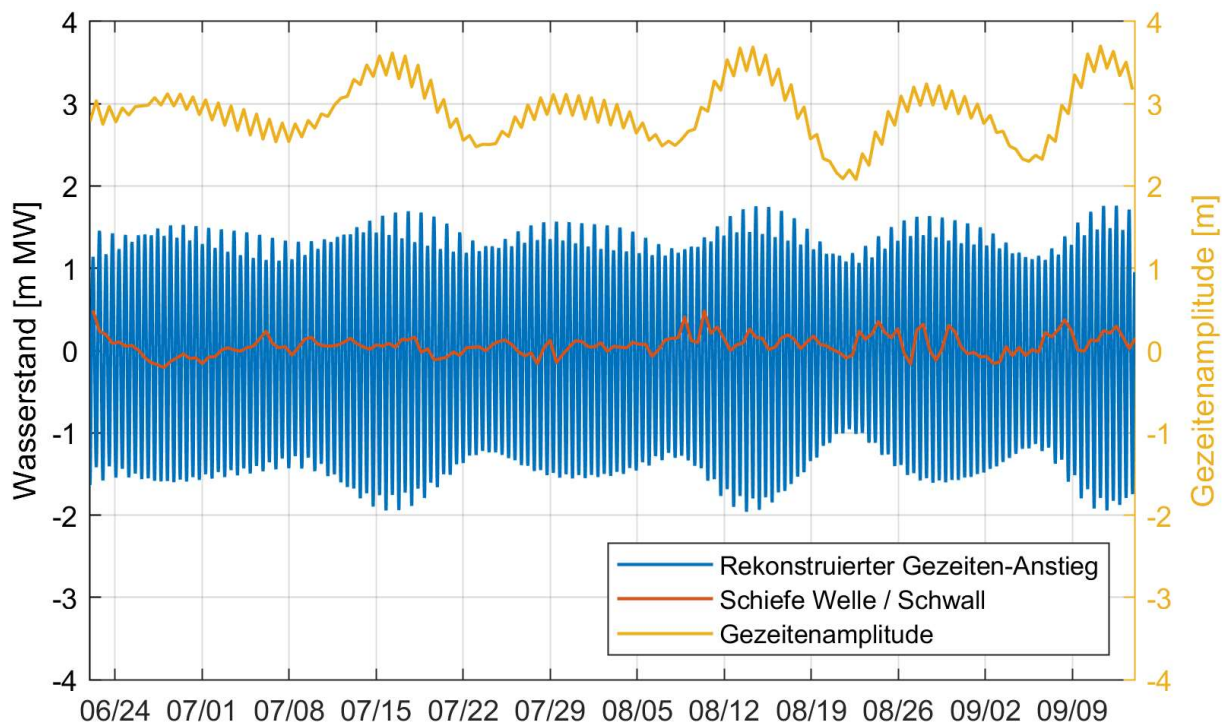




Abbildung 2-5 Zeitreihen des nachgebildeten Gezeitensignals, des Skew-Surge-Signals und der Gezeitenamplitude am Pegelpunkt beim Leuchtturm Alte Weser für den Zeitraum 22. Juni 2018 bis 14. Sept. 2018.

### 2.2 Nahfeldmodellierung der Temperaturfahne

Als Nahfeld gilt der Anfangsbereich nahe des Austritts. An dieser Stelle sind vertikale Beschleunigungen aufgrund von Dichteunterschieden von hoher Bedeutung. Dieser Bereich erstreckt sich je nach vorliegenden Umständen typischerweise über das 20- bis 200-fache des Rohrdurchmessers. Aufgrund der dichtebedingten Strömung lässt dieser Bereich sich nur schwer mit einem großflächig arbeitenden Modell wie TELEMAC modellieren. Denn dieses setzt den Einsatz eines nichthydrostatischen Druckgradienten und sehr feiner Rasternetze voraus, was mit sehr langen Berechnungszeiten einhergeht.

Zur Modellierung des Nahfeldverhaltens der Temperaturfahne wurde das Lagrange-Modell von Lee und Cheung (1990) verwendet. Hierbei handelt es sich um ein vereinfachtes Modell. Es berechnet die Bewegung



	Umgebung	
TES-Proj.- Nr.: TES-WHV-VGN	FSRU Wilhelmshaven: Bericht über die Ausbreitung von Temperaturfahnen	Dok.- Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC.2016_07
TES-Code: TES-WHV-VGN-		Seite 14 von 45

eines Strahls oder einer Fahne mit Auftrieb, auf Grundlage der Massen- und Impulsbilanz des freigesetzten Materials. Dabei wurden die folgenden Annahmen getroffen:

- Jede Fahne verhält sich unabhängig von den anderen Fahnen.
- Die Fahne hat einen kreisförmigen Querschnitt.
- Während der Freisetzung der Fahne strömt das umgebende fließende Wasser räumlich und zeitlich konstant. Die FSRU oder etwaige andere Bauwerke mit Fließeffekt wirken sich nicht auf das umgebende fließende Wasser aus. Auch wirken sich weder der Meeresboden noch die Wasseroberfläche auf die Ausbreitung der Fahne aus.
- Die Umgebungstemperatur ist räumlich und zeitlich konstant.



Ungeachtet dieser Annahmen bietet das Modell eine für die Ziele dieser Studie hinreichend präzise Annäherung an das Nahfeldverhalten.

### 2.3 Fernfeldmodellierung der Temperaturfahne

Bei der Modellierung des Fernfeldverhaltens der Temperaturfahnen gilt die konventionelle Advektions-Diffusions-Gleichung. Zu diesem Zweck wurde das Modell um eine skalare Transportgleichung für Temperaturen ergänzt. Es wurden die folgenden Annahmen getroffen und Modelleinstellungen vorgenommen:

- Die Temperatur wird als aktiver Tracer simuliert. Dadurch können die horizontalen Druckgradienten im Modell und damit die Strömung durch die Temperaturunterschiede beeinflusst werden, die aus den Temperaturfreisetzungen der FSRU resultieren.
- Die Strömung wird durch die FSRU (schematisch als Bauwerk in Höhe der gesamten Wassersäule dargestellt) und den ausgebaggerten Wendekreis beeinflusst. Es werden keine anderen hydrodynamischen Änderungen berücksichtigt (wie z. B. Dalben oder angelegte LNG-Tanker). Diese Annahme ist begründet. Die Dalben wirken sich lediglich begrenzt – und lokal – auf die Strömung aus. Die Auswirkung der FSRU auf die Strömung wird überschätzt, wodurch diese Annahme konservativ ist. Zu diesem Zeitpunkt kann die Auswirkung eines angelegten LNG-Tankers vernachlässigt werden. Wie die Ergebnisse der Nahfeldmodellierung in Kapitel 4 zeigen, sinken die meisten Freisetzungen von der FSRU eher ab und unterqueren sie. Der LNG-Tanker hat darauf keine Auswirkungen.
- Nur die Freisetzungen, die von der FSRU ausgehen, wirken sich auf die Temperatur aus. Es werden keine natürlichen, jahreszeitlichen Temperaturschwankungen im Modell berücksichtigt.
- Die Freisetzung der Temperatur erfolgt im Modell unter Verwendung von Quelltermen. Die Form dieser Quellterme ist zwar räumlich und zeitlich konstant. Bezogen auf die einzelnen Freisetzungen kann sie jedoch variieren. Breite, Höhe und Höhenposition der Quellen werden auf Grundlage der Ergebnisse der Nahfeldberechnungen festgelegt (Abschnitt 2.2).
- Diffusität und Impuls der Temperatur sind gleich.



	Umgebung	
TES-Proj.- Nr.: TES-WHV-VGN	FSRU Wilhelmshaven: Bericht über die Ausbreitung von Temperaturfahnen	Dok.- Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC.2016_07
TES-Code: TES-WHV-VGN-		Seite 15 von 45

### 3 Szenarien

Für die Fahnenmodellierung wurden drei Szenarien betrachtet:

- Sommerszenario.
- Winterszenario.
- Kombiniertes Sommerszenario.

Bei jedem dieser Modellszenarien wurden verschiedene Freisetzungsarten, die von der FSRU ausgehen, berücksichtigt. Die Freisetzungen werden in den folgenden Abschnitten beschrieben. Abbildung 3-1 zeigt die Freisetzungsstellen.

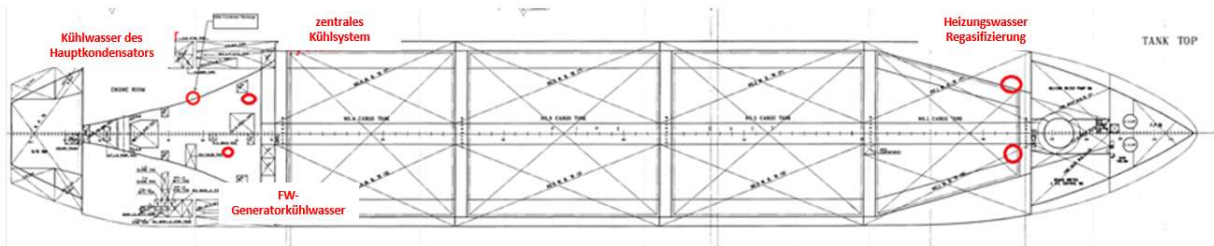




Abbildung 3-1 Einleitstellen der verschiedenen Fahnen bei der FSRU

#### 3.1 Sommerszenario

Im Sommerszenario werden nur die Heizwasserfahnen simuliert. In diesem Szenario wird das kalte Wasser, das bei der Regasifizierung des Flüssigerdgases zum Erhitzen verwendet wird, in Wasser mit einer konstanten Temperatur von 20 [°C] freigesetzt. Da die Heizwasserfahnen eine niedrigere Temperatur als das umgebende Wasser aufweisen, sinkt die Wassertemperatur in der Nähe der FSRU. Bei allen anderen Freisetzungsarten liegen die Temperaturen über den Wassertemperaturen in der Umgebung. Wird also nur die Heizwasserfahne betrachtet (und lässt man die Kühlwasserfahnen außer Acht, deren Temperatur höher als die Umgebungstemperatur ist), so ist hier die Auswirkung auf die Wassertemperatur rund um die FSRU am größten. Insofern handelt es sich um die konservativste Freisetzung, was die Wassertemperatur im Sommerszenario betrifft. Die für die Simulation vorgenommenen Einstellungen sind in Tabelle 3-1 angegeben. Die Werte dieser Parameter liegen an der oberen Grenze der erwarteten Werte für den Austrittstemperaturunterschied. Insofern sind die erwarteten Auswirkungen der Fahne konservativ.



	Umgebung	
TES-Proj.- Nr.: TES-WHV-VGN	FSRU Wilhelmshaven: Bericht über die Ausbreitung von Temperaturfahnen	Dok.- Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC.2016_07
TES-Code: TES-WHV-VGN-		Seite 16 von 45

*Tabelle 3-1 Fahnenparameter im Sommerszenario*

Menge	Wert
Fahne	Zur Regasifizierung verwendetes Heizwasser
Austritt [m³/h]	2 × 6250
Freisetzungshöhe (m unter Wasserspiegel)	10,6
Rohrdurchmesser [m]	0,59
Freisetzungswinkel [Grad]	90
Temperaturunterschied [°C]	-8,2

### 3.2 Winterszenario

Im Winterszenario liegt die Temperatur der Fahnen über der umgebenden Wassertemperatur und sie werden in Wasser mit einer konstanten Temperatur von 5,0 [°C] freigesetzt. Bei winterlichen Bedingungen arbeitet die FSRU mit geschlossenem Kreislauf. Daher wird dann kein kaltes Wasser freigesetzt. Es gibt zwei Fahnen mit erhöhten Wassertemperaturen, dargestellt in Tabelle 3-2.



*Tabelle 3-2 Fahnenparameter im Winterszenario*

Fahne	Kühlwasser des Hauptkondensators	Zentrales Kühlsystem
Austritt [m³/h]	7400	1000
Einleithöhe (m unter Wasserspiegel)	7,38	8,42
Rohrdurchmesser [m]	1,40	0,39
Freisetzungswinkel [Grad]	45 abwärts	90 abwärts
Temperaturunterschied [°C]	+6,0	+6,0

### 3.3 Kombiniertes Sommerszenario

Im kombinierten Sommerszenario werden sowohl Heizwasser (mit einer Temperatur, die niedriger als die umgebende Wassertemperatur ist) als auch Kühlwasser berücksichtigt. Weil in diesem Szenario sowohl wärmeres als auch kälteres Wasser freigesetzt werden, ist zu erwarten, dass es sich hinsichtlich der





	Umgebung	
TES-Proj.- Nr.: TES-WHV-VGN	FSRU Wilhelmshaven: Bericht über die Ausbreitung von Temperaturfahnen	Dok.- Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC.2016_07
TES-Code: TES-WHV-VGN-		Seite 17 von 45

Wassertemperatur nicht um das konservativste Szenario handelt. Die Parameter dieses Szenarios werden in Tabelle 3-3 angegeben.

*Tabelle 3-3 Fahnenparameter im kombinierten Szenario*

Fahne	Kühlwasser des Hauptkondensators	Zentrales Kühlsystem	Zur Regasifizierung verwendetes Heizwasser
Austritt [m³/h]	7400	1000	2 × 6250
Einleithöhe (m unter Wasserspiegel)	7,38	8,42	10,6
Rohrdurchmesser [m]	1,40	0,39	0,59
Freisetzungswinkel [Grad]	45 abwärts	90 abwärts	90 abwärts
Temperaturunterschied [°C]	+6,0	+6,0	-8,2



	Umgebung	
TES-Proj.- Nr.: TES-WHV-VGN	FSRU Wilhelmshaven: Bericht über die Ausbreitung von Temperaturfahnen	Dok.- Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC.2016_07
TES-Code: TES-WHV-VGN-		Seite 18 von 45

## 4 Ergebnisse

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse zu den Temperaturfahnen erörtert.

### 4.1 Szenario 1: sommerliche Bedingungen

#### 4.1.1 Nahfeldverhalten

Die Nahfeldergebnisse für die Kaltwasserfahne (infolge Freisetzung von Heizwasser, siehe Abschnitt 3.1) sind in Abbildung 4-1 dargestellt. Diese Abbildung zeigt die (vertikalen) Höhenposition der Fahne in Abhängigkeit von der zurückgelegten Entfernung sowie die (vertikale) halbe Breite der Fahne. Die dargestellten Ergebnisse entsprechen dem maximalen Gezeitenfluss. Diese Ergebnisse sind repräsentativ für das Verhalten der Fahne. Bei mittleren Gezeitenfließbedingungen zeigt die Fahne ein ähnliches Verhalten, ist jedoch etwas schmaler (nicht dargestellt). Den Ergebnissen zufolge sinkt die Kaltwasserfahne schnell zum Meeresboden ab. Daher kann die Nahfeldauswirkung der Fahne schematisiert werden, indem für jede der beiden Heizwasserfahnen in der Nähe der FSRU eine Fahne mit einer halben Breite von +/-4 m am Meeresboden angesetzt wird.

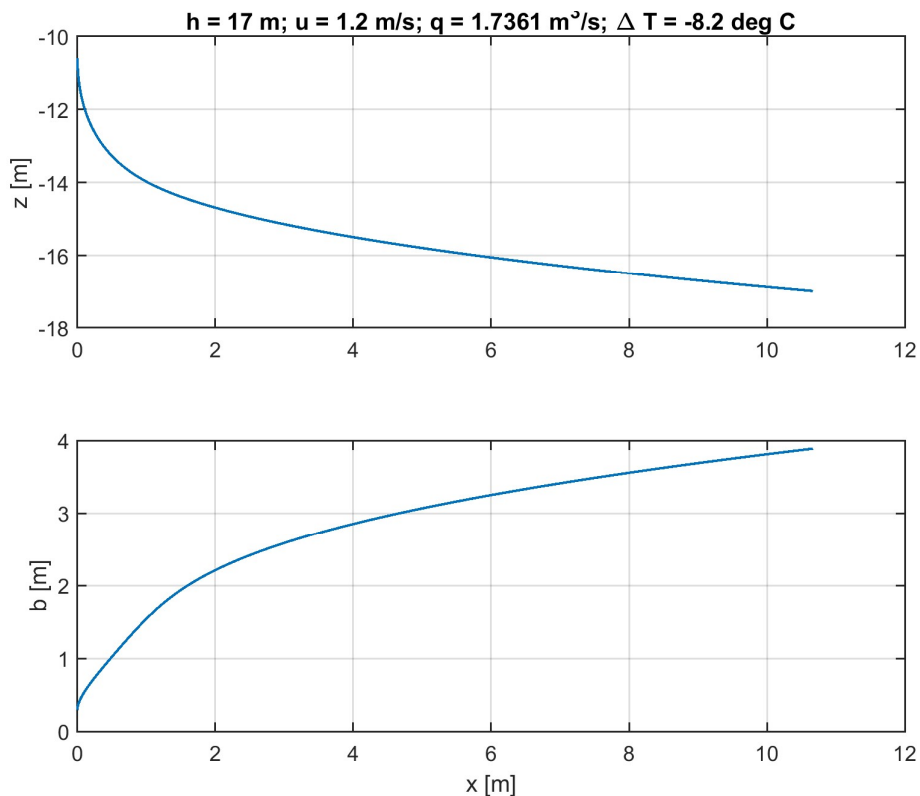






Abbildung 4-1 Höhenposition der Fahne (oben) und halbe Breite der **Kaltwasserfahne** in Abhängigkeit von der Entfernung von der FSRU.



 <b>IMDC TRACTEBEL</b>  	Umgebung	 <b>IMDC</b>
TES-Proj.- Nr.: TES-WHV-VGN	FSRU Wilhelmshaven: Bericht über die Ausbreitung von Temperaturfahnen	Dok.- Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC.2016_07
TES-Code: TES-WHV-VGN-		Seite 19 von 45

#### 4.1.2 Fernfeldverhalten – Temperatur





In den ersten vier Simulationswochen entwickelte die Temperaturfahne sich allmählich. Dieser Zeitraum wurde nicht berücksichtigt. Die Ergebnisse der weiteren acht Simulationswochen flossen in die Berechnung der minimalen, mittleren und maximalen Temperaturen ein. Zudem wurden die Temperaturen berechnet, die mit unterschiedlicher Wahrscheinlichkeit nicht überschritten werden (5. und 95. Perzentil).

Abbildung 4-2 bis Abbildung 4-4 zeigen die minimale und die 5.-Perzentil-Wassertemperatur beim Sommerszenario für die unterste Modellschicht (d. h. am Meeresboden), für eine Schicht in der Mitte (d. h. in der Mitte der Wassersäule) und für die oberste Schicht (d. h. an der Wasseroberfläche). Den Ergebnissen zufolge bildet das Heizwasser eine Fahne, die sich in nordwestlicher und südöstlicher Richtung ausbreitet. Die Fahne ist recht länglich ausgebildet. Die höchsten Temperaturunterschiede kommen in der Nähe der FSRU und in einer schmalen Fahne stromaufwärts und stromabwärts von der FSRU vor. Weit entfernt von der FSRU unterscheiden die minimalen und die 5.-Perzentilkarten sich nur unwesentlich.

Abbildung 4-5 bis Abbildung 4-7 zeigen das Temperaturfeld nahe der FSRU detaillierter. Gemäß dieser Abbildung sind Temperaturunterschiede von mehr als 1 [°C] auf die unmittelbare Umgebung der FSRU beschränkt. Der maximale Temperaturunterschied in diesem Bereich beträgt ca. 2,5 [°C]. Dies kommt jedoch nur selten vor, daher kann er auf der 5.-Perzentilkarte auf einen Unterschied von 1,5 [°C] reduziert werden. Die Fahne ist nicht ganz symmetrisch ausgebildet. Die Fahne bei Flut (südöstlich der FSRU) ist schmaler und weniger ausgeprägt als die Fahne bei Ebbe (nordwestlich der FSRU). Die Untiefen östlich des Projektgebiets bilden erkennbar eine natürliche Barriere gegen die Ausbreitung der Kaltwasserfahne. Auch in der Nachströmung der Insel Mellum fällt der Temperaturunterschied geringer aus.

Die niedrigsten Temperaturen in der Umgebung der FSRU treten in Meeresbodennähe auf. Denn im Nahfeld fällt das freigesetzte Wasser schnell zum Meeresboden hin ab (Abschnitt 4.1.1). Weit entfernt von der FSRU hingegen unterscheiden sich die Konzentrationen zwischen dem oberen Rand, der Mitte und dem unteren Rand der Wassersäule nur begrenzt. Dies deutet darauf hin, dass die Fahne hier über die gesamte Wassersäule vermengt wurde.



 <b>IMDC TRACTEBEL</b>  	Umgebung	 <b>IMDC</b>
TES-Proj.- Nr.: TES-WHV-VGN	FSRU Wilhelmshaven: Bericht über die Ausbreitung von Temperaturfahnen	Dok.- Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC.2016_07
TES-Code: TES-WHV-VGN-		Seite 20 von 45

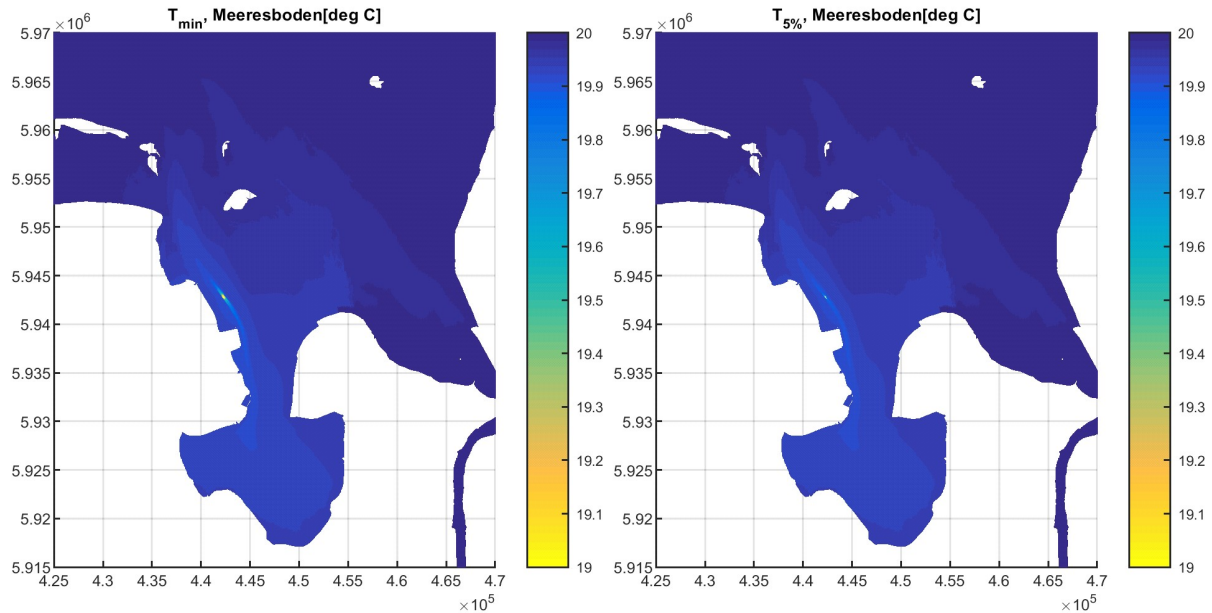


Abbildung 4-2 Minimale und 5.-Perzentil-Wassertemperaturen in Meeresbodennähe während der Simulation unter sommerlichen Bedingungen (nur Freisetzung von Heizwasser).

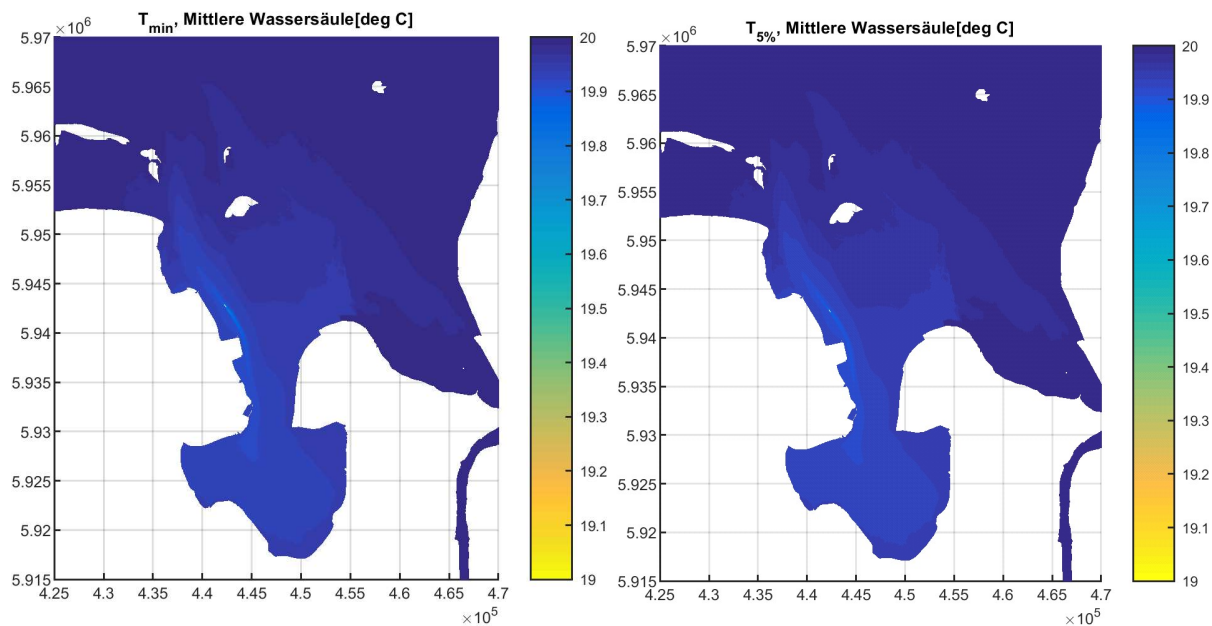






Abbildung 4-3 Minimale und 5.-Perzentil-Wassertemperaturen in der Mitte der Wassersäule während der Simulation unter sommerlichen Bedingungen (nur Freisetzung von Heizwasser).



 <b>IMDC TRACTEBEL</b>  	Umgebung	 <b>IMDC</b>
TES-Proj.- Nr.: TES-WHV-VGN	FSRU Wilhelmshaven: Bericht über die Ausbreitung von Temperaturfahnen	Dok.- Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC.2016_07
TES-Code: TES-WHV-VGN-		Seite 21 von 45

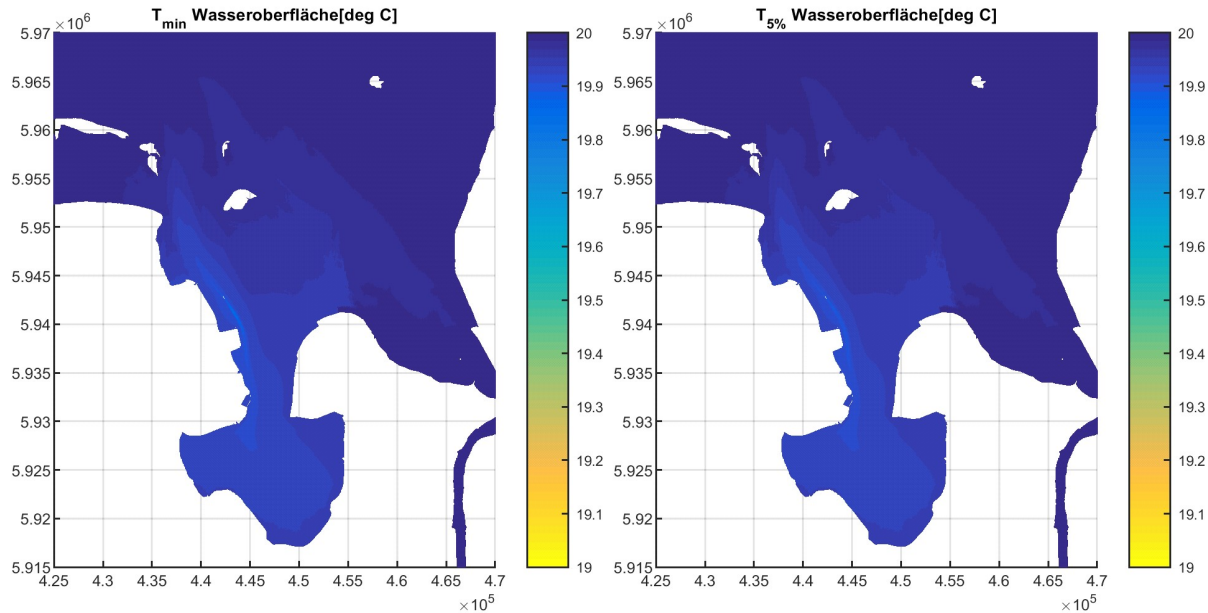


Abbildung 4-4 Minimale und 5.-Perzentil-Wassertemperaturen an der Wasseroberfläche während der Simulation unter sommerlichen Bedingungen (nur Freisetzung von Heizwasser).

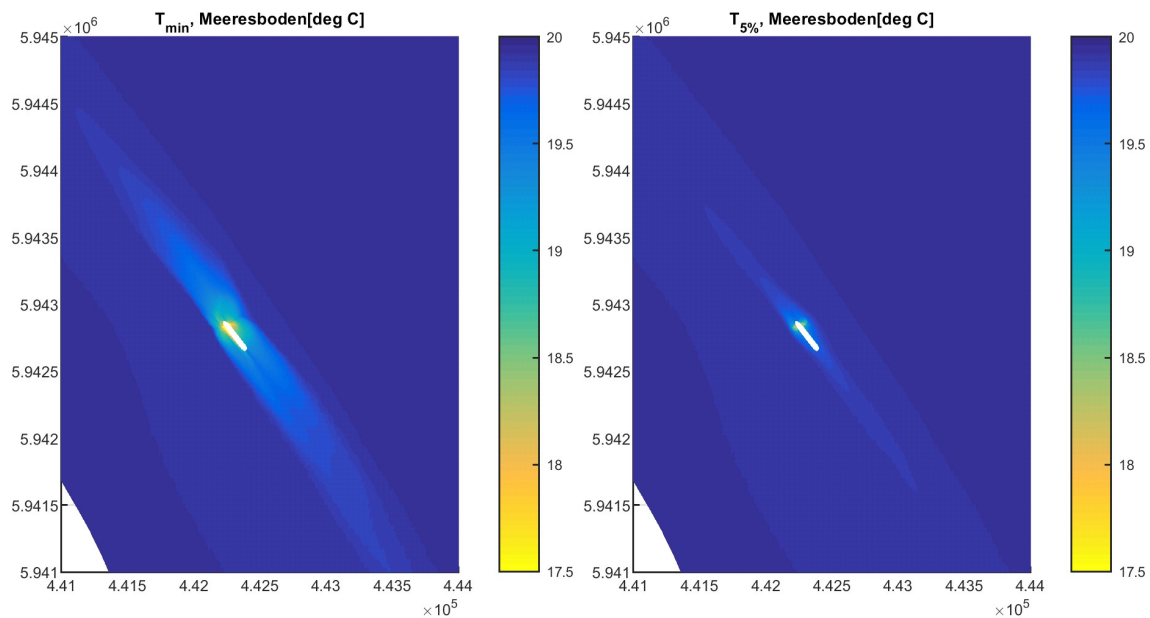






Abbildung 4-5 Vergrößerte Darstellung der minimalen und 5.-Perzentil-Wassertemperaturen in Meeresbodennähe nahe der FSRU während der Simulation unter sommerlichen Bedingungen (nur Freisetzung von Heizwasser). Hinweis: Die Farbskala ist anders als bei den vorangehenden drei Abbildungen.



  	Umgebung	
TES-Proj.- Nr.: TES-WHV-VGN	FSRU Wilhelmshaven: Bericht über die Ausbreitung von Temperaturfahnen	Dok.- Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU- ENV-DOC.2016_07
TES-Code: TES-WHV-VGN-		Seite 22 von 45

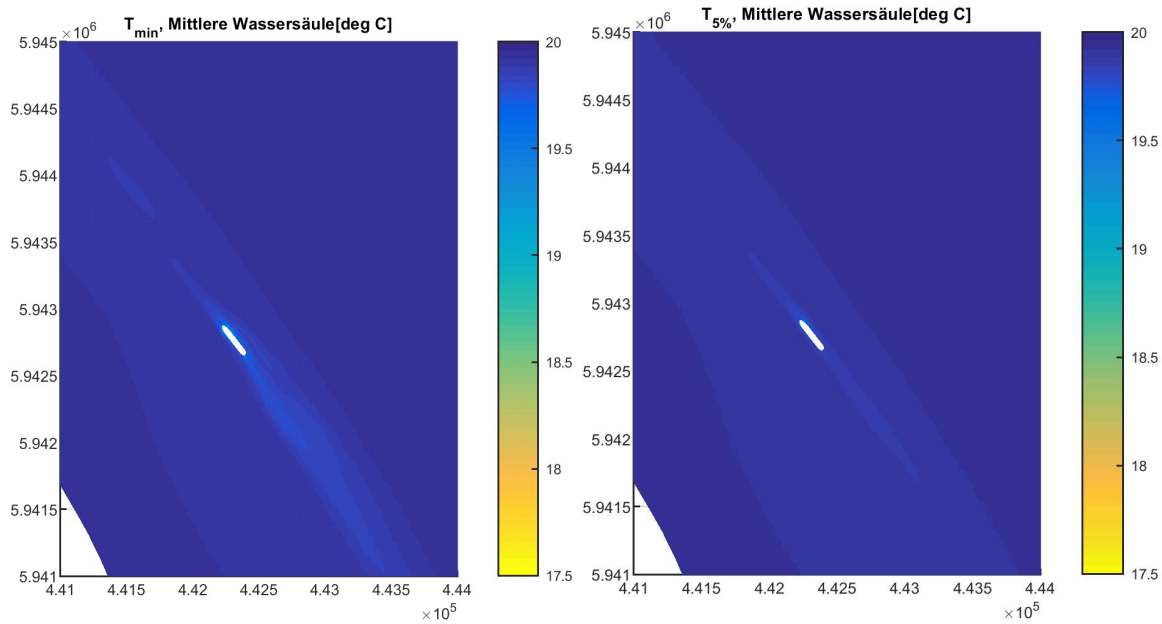


Abbildung 4-6 Vergrößerte Darstellung der minimalen und 5.-Perzentil-Wassertemperaturen in der Mitte der Wassersäule nahe der FSRU während der Simulation unter sommerlichen Bedingungen (nur Freisetzung von Heizwasser).

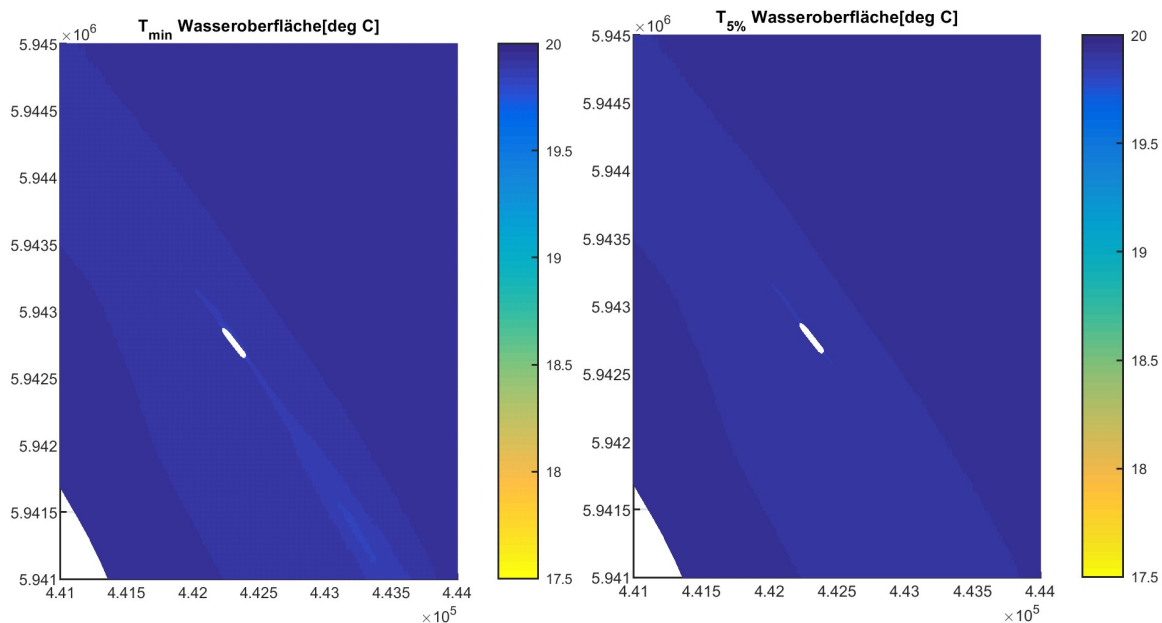


Abbildung 4-7 Vergrößerte Darstellung der minimalen und 5.-Perzentil-Wassertemperaturen an der Wasseroberfläche nahe der FSRU während der Simulation unter sommerlichen Bedingungen (nur Freisetzung von Heizwasser).





	Umgebung	
TES-Proj.- Nr.: TES-WHV-VGN	FSRU Wilhelmshaven: Bericht über die Ausbreitung von Temperaturfahnen	Dok.- Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC.2016_07
TES-Code: TES-WHV-VGN-		Seite 23 von 45

Abbildung 4-8 zeigt die durchschnittliche Wassertemperatur in Meeresbodennähe und an der Wasseroberfläche. Der durchschnittliche Temperaturunterschied gegenüber dem umgebenden fließenden Wasser ist geringer als der minimale Wert. Dies liegt an der Abhängigkeit der Fahne von den Gezeiten. Bei Ebbe bewegt sie sich nach Nordwesten, bei Flut nach Südosten. Somit ist jede bestimmte Stelle jeweils nur während eines Teilzeitraums der Gezeiten betroffen.

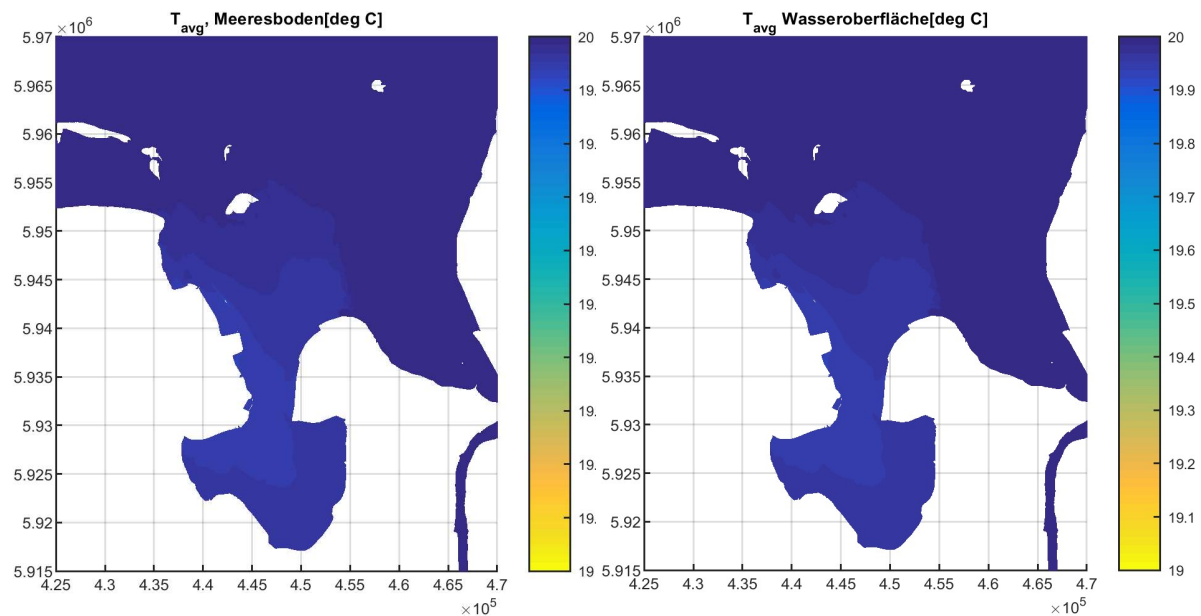






Abbildung 4-8 Die durchschnittliche Wassertemperatur in Meeresbodennähe und an der Wasseroberfläche während der Simulation unter sommerlichen Bedingungen (nur Freisetzung von Heizwasser).

## 4.2 Szenario 2: winterliche Bedingungen

### 4.2.1 Nahfeldverhalten

Abbildung 4-9 bis Abbildung 4-10 zeigen die beiden Nahfeldfahnen für jede der Kühlwasserfreisetzungen im Winter (mit einer Wassertemperatur, die über der Temperatur des umgebenden Meerwassers liegt). Die Bedingungen stehen für den maximalen Gezeitenfluss. Vergleichsweise ähnliche Ergebnisse wurden für mittlere Gezeitenflüsse erzielt (nicht dargestellt). Die Fahnen vom Kondensator und vom zentralen Kühlsystem scheinen ebenfalls abzusinken. Angesichts dessen, dass die Dichte des freigesetzten Wassers geringer ist als die Dichte des – kälteren – umgebenden Meerwassers, mag dieses Ergebnis zunächst etwas überraschen. Zurückzuführen ist es darauf, dass der Anfangsimpuls der Fahnen (die stets abwärts gerichtet freigesetzt werden) stärker ist als der Auftrieb. Im Fernfeldmodell erfolgten die Freisetzungen bei einer mittleren Höhenposition von -13 [m MSL] mit einem Radius von 4 m.



 <b>IMDC TRACTEBEL</b>  	Umgebung	 <b>IMDC</b>
TES-Proj.- Nr.: TES-WHV-VGN	FSRU Wilhelmshaven: Bericht über die Ausbreitung von Temperaturfahnen	Dok.- Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC.2016_07
TES-Code: TES-WHV-VGN-		Seite 24 von 45

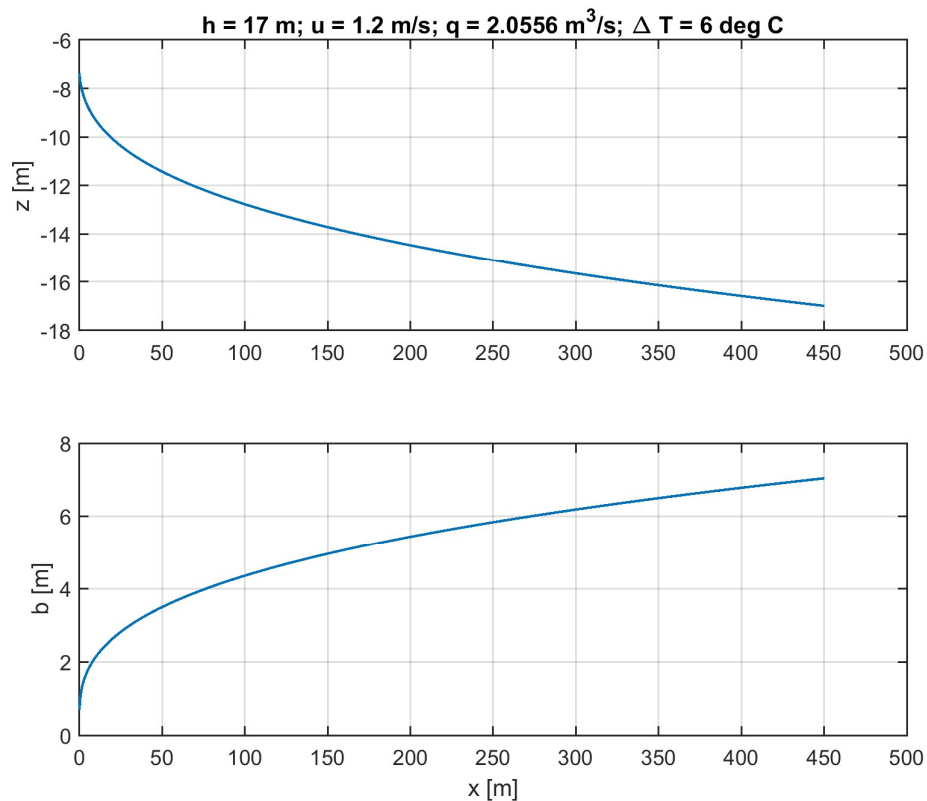




Abbildung 4-9 Höhenposition der Fahne (oben) und halbe Breite der **Kühlwasserfahne des Kondensators** in Abhängigkeit von der Entfernung von der FSRU bei maximalen Gezeitenfließbedingungen.



	Umgebung	
TES-Proj.- Nr.: TES-WHV-VGN	FSRU Wilhelmshaven: Bericht über die Ausbreitung von Temperaturfahnen	Dok.- Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC.2016_07
TES-Code: TES-WHV-VGN-		Seite 25 von 45

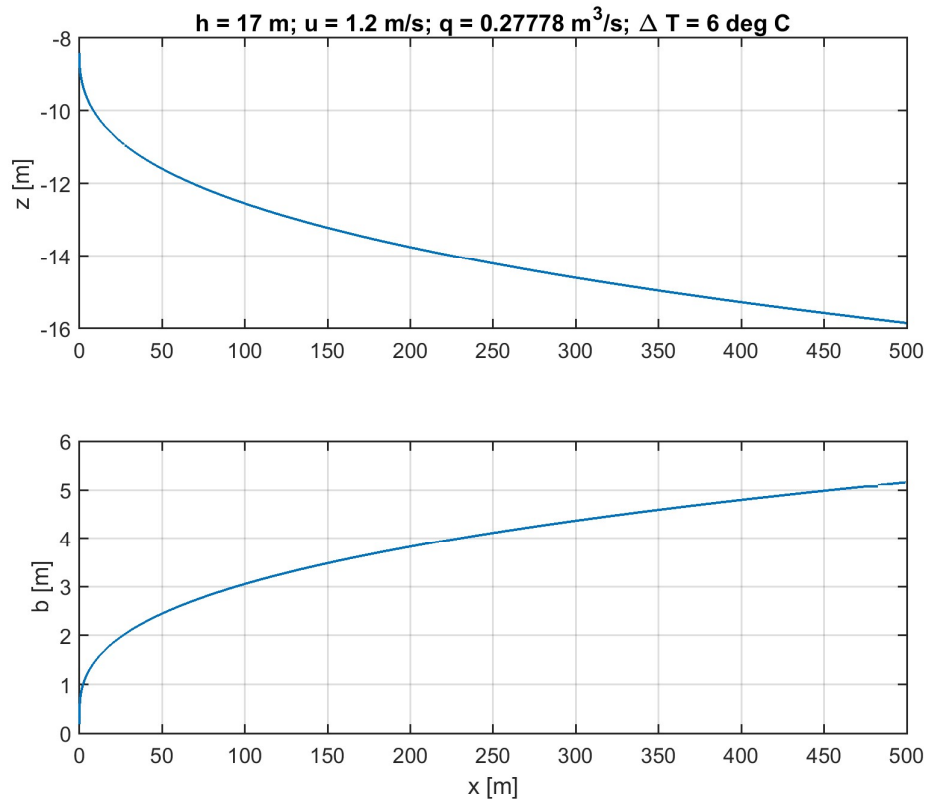






Abbildung 4-10 Höhenposition der Fahne (oben) und halbe Breite der **Kühlwasserfahne des zentralen Kühlsystems** in Abhängigkeit von der Entfernung von der FSRU bei maximalen Gezeitenfließbedingungen.

#### 4.2.2 Fernfeldverhalten – Temperatur

Wie im vorangehenden Szenario wurden die Statistiken anhand der Ergebnisse der letzten acht Simulationswochen berechnet. Abbildung 4-11 bis Abbildung 4-13 zeigen die maximalen und die 95.-Perzentil-Temperaturkarten für die Meeresbodennähe, die Mitte der Wassersäule und die Wasseroberfläche. Die Warmwasserfahne verhält sich ähnlich wie die Kaltwasserfahne unter sommerlichen Bedingungen (Abschnitt 4.1.2). Quantitativ besehen ist die Auswirkung jedoch etwas geringer. Dies liegt daran, dass in der Warmwasserfahne eine geringere Wassermenge freigesetzt wird als in der Kaltwasserfahne unter sommerlichen Bedingungen (Abschnitt 4.1.2). Auch hier zeigt die Fahne eine schmale Ausdehnung in den Hauptfließrichtungen der Gezeiten, mit einer Ausbreitung über den Jadebusen hinweg, die von den Untiefen nach Osten hin aufgehalten wird. Das Gebiet nördlich der Insel Mellum ist erkennbar weniger betroffen. In einiger Entfernung von der FSRU ähneln die maximale und die 95.-Perzentilkarte einander sehr.

Abbildung 4-14 bis Abbildung 4-16 zeigen vergrößerte Darstellungen der Fahne um die FSRU herum. Diesen Abbildungen zufolge tritt die Fahne vornehmlich an der Backbordseite der FSRU auf. Dort erfolgt auch die



 <b>IMDC TRACTEBEL</b>  	Umgebung	 <b>IMDC</b>
TES-Proj.- Nr.: TES-WHV-VGN	FSRU Wilhelmshaven: Bericht über die Ausbreitung von Temperaturfahnen	Dok.- Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC.2016_07
TES-Code: TES-WHV-VGN-		Seite 26 von 45

größte Freisetzung von Kühlwasser. Den größten Temperaturunterschied gibt es nahe der FSRU in der Mitte der Wassersäule. Weiter entfernt ist die Fahne gut in der Vertikalen vermengt. Der maximale unmittelbare Temperaturunterschied beträgt ca. 1,5 [°C] und tritt sehr nahe an der FSRU auf. Gemäß 95.-Perzentilkarte kommt er in diesem Ausmaß jedoch recht selten vor. Der höchste Temperaturunterschied, der aus der 95.-Perzentilkarte hervorgeht, beträgt lediglich 0,5[°C].

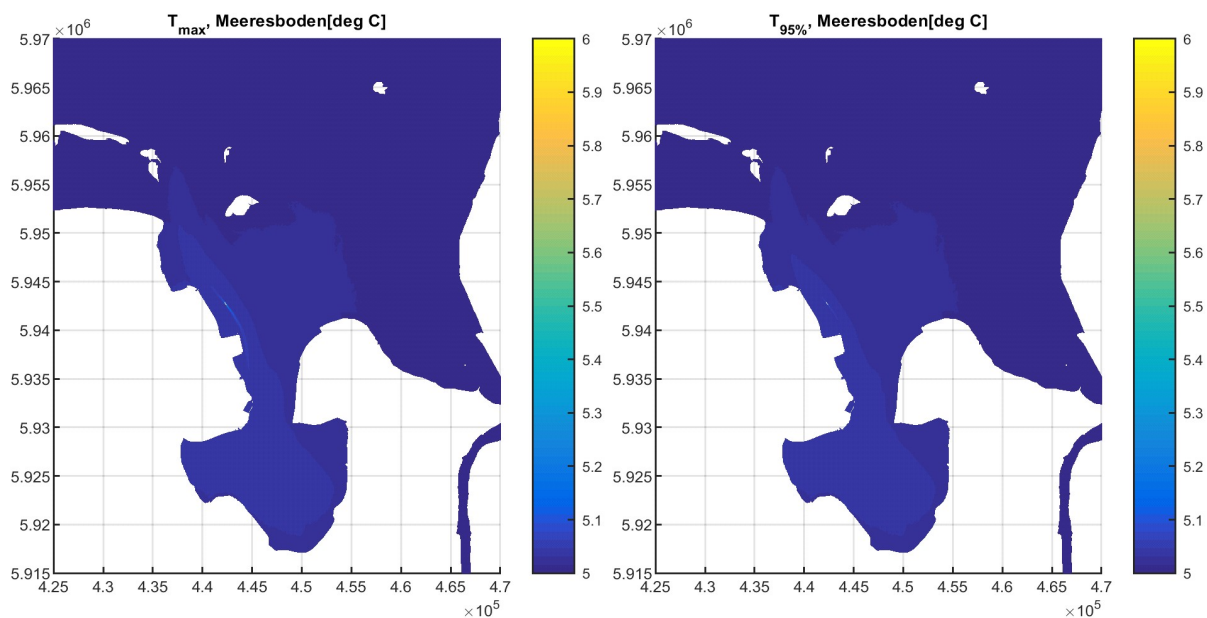






Abbildung 4-11 Maximale und 95.-Perzentil-Wassertemperaturen in Meeresbodennähe während der Simulation des Winterszenarios.



 <b>IMDC TRACTEBEL</b>  	Umgebung	 <b>IMDC</b>
TES-Proj.- Nr.: TES-WHV-VGN	FSRU Wilhelmshaven: Bericht über die Ausbreitung von Temperaturfahnen	Dok.- Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC.2016_07
TES-Code: TES-WHV-VGN-		Seite 27 von 45

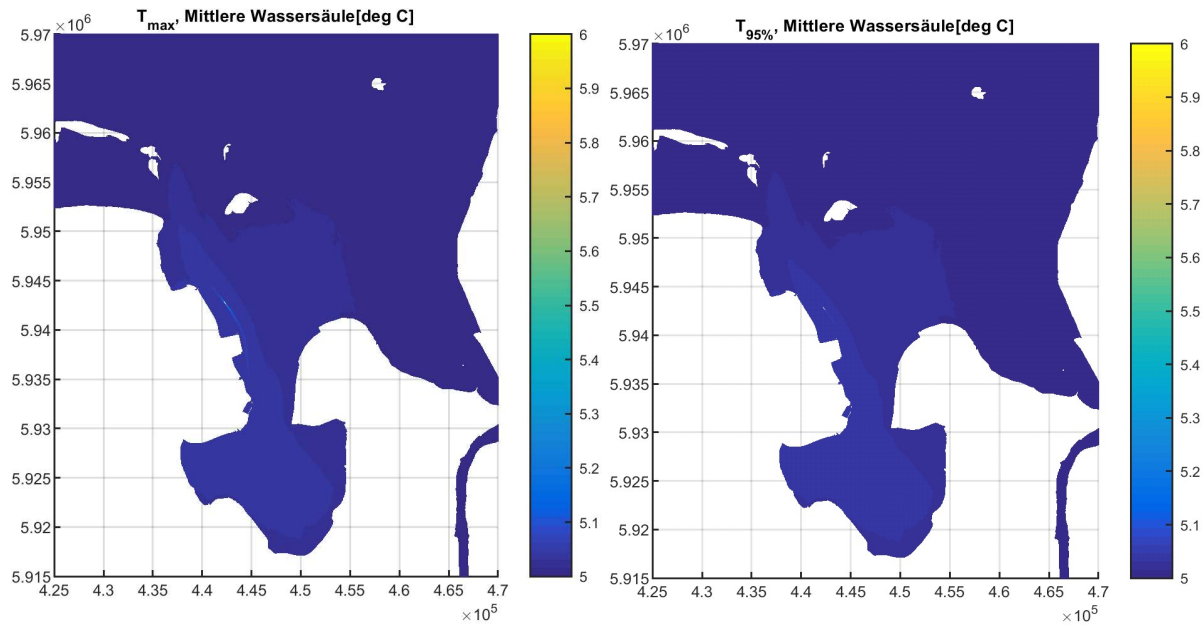


Abbildung 4-12 Maximale und 95.-Perzentil-Wassertemperaturen in der Mitte der Wassersäule während der Simulation des Winterszenarios.

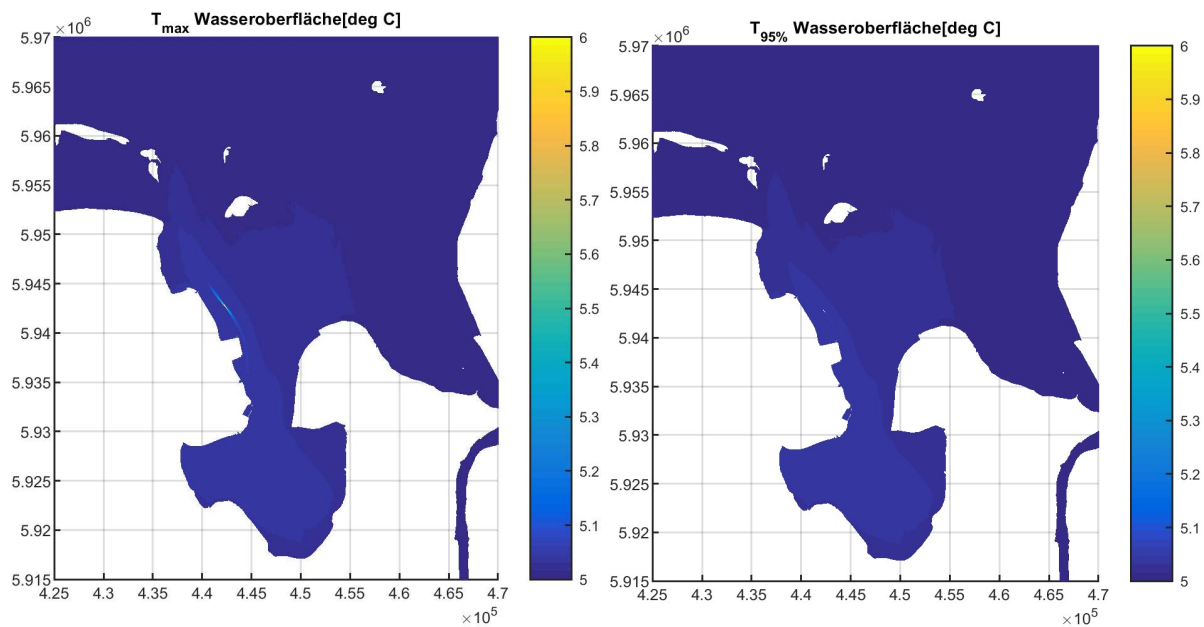






Abbildung 4-13 Maximale und 95.-Perzentil-Wassertemperaturen an der Wasseroberfläche während der Simulation des Winterszenarios.



 <b>IMDC TRACTEBEL</b>  	Umgebung	 <b>IMDC</b>
TES-Proj.- Nr.: TES-WHV-VGN	FSRU Wilhelmshaven: Bericht über die Ausbreitung von Temperaturfahnen	Dok.- Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC.2016_07
TES-Code: TES-WHV-VGN-		Seite 28 von 45

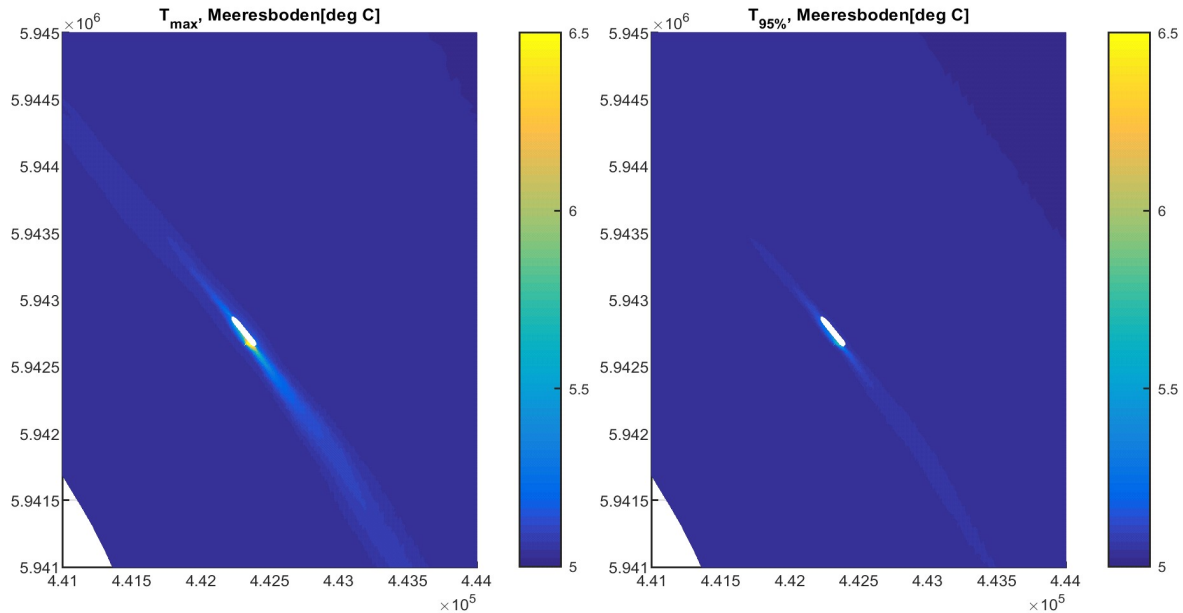


Abbildung 4-14 Vergrößerte Darstellung der maximalen und 95.-Perzentil-Wassertemperaturen in Meeresbodennähe nahe der FSRU während der Simulation des Winterszenarios. Die Farbskala ist anders als bei den vorangehenden Abbildungen.

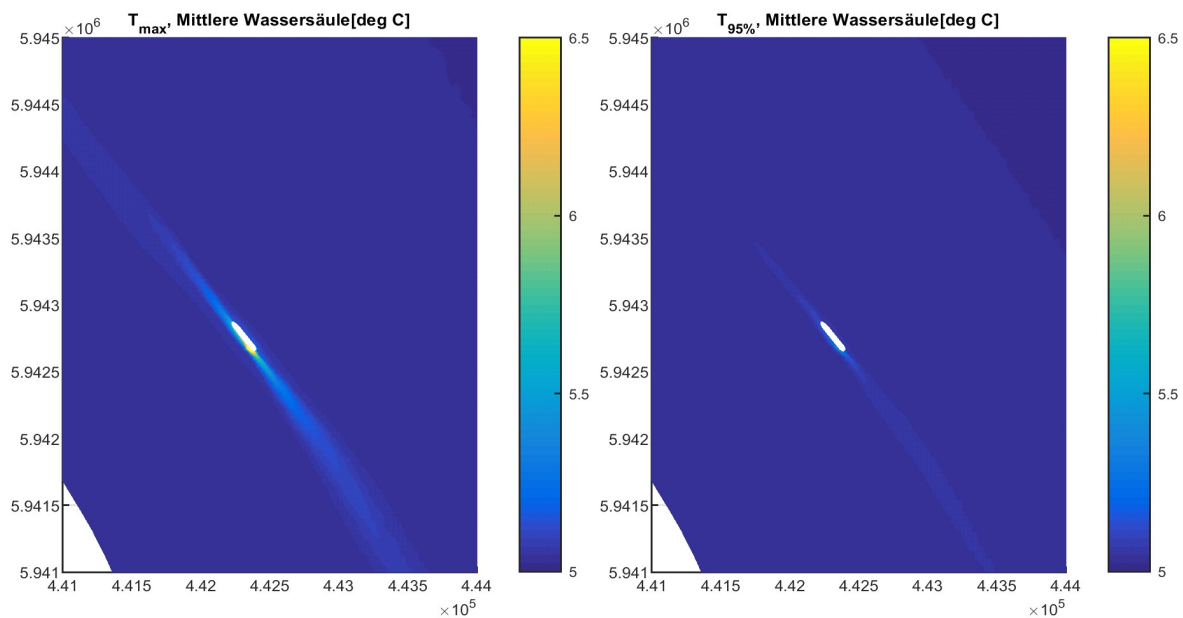




Abbildung 4-15 Vergrößerte Darstellung der maximalen und 95.-Perzentil-Wassertemperaturen in der Mitte der Wassersäule nahe der FSRU während der Simulation des Winterszenarios.



	Umgebung	
TES-Proj.- Nr.: TES-WHV-VGN	FSRU Wilhelmshaven: Bericht über die Ausbreitung von Temperaturfahnen	Dok.- Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC.2016_07
TES-Code: TES-WHV-VGN-		Seite 29 von 45

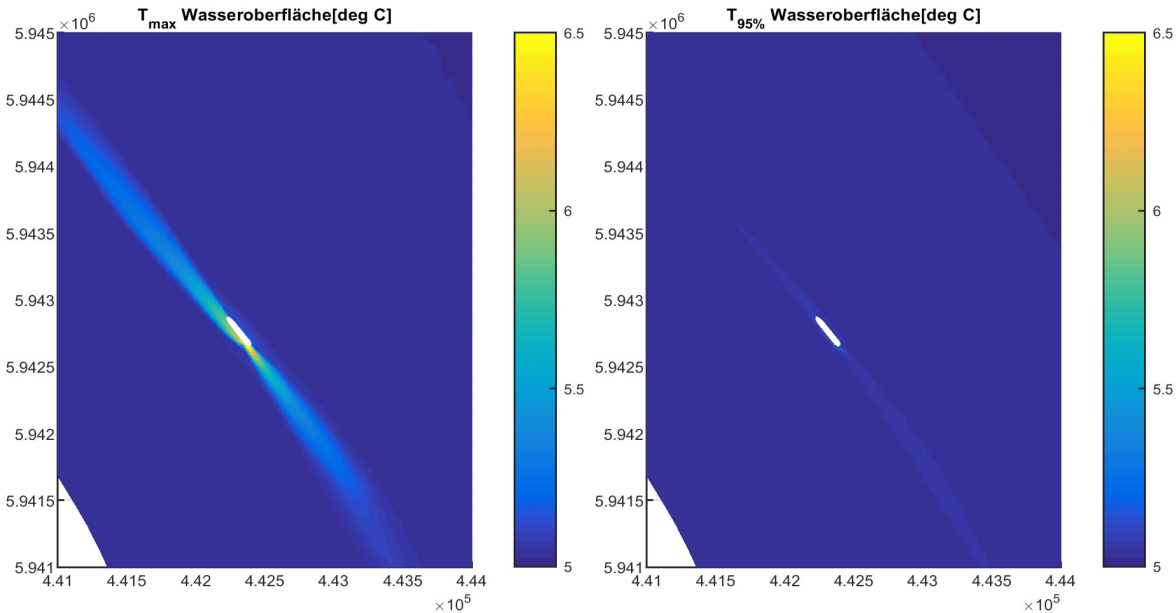


Abbildung 4-16 Vergrößerte Darstellung der maximalen und 95.-Perzentil-Wassertemperaturen an der Wasseroberfläche nahe der FSRU während der Simulation des Winterszenarios.

### 4.3 Szenario 3: kombiniertes Szenario





#### 4.3.1 Nahfeldverhalten

Für dieses Szenario wurden keine separaten Nahfeldsimulationen durchgeführt. Das Heizwasser (mit einer Wassertemperatur, die niedriger als die des umgebenden Wassers ist) verhält sich wie in Abschnitt 4.1.1 beschrieben. Die beiden Warmwasserfreisetzungen verhalten sich wie in Abschnitt 4.2.1 beschrieben (da der Austritt und der Temperaturunterschied gleich ausfallen).

#### 4.3.2 Fernfeldverhalten – Temperatur

Abbildung 4-17 bis Abbildung 4-19 zeigen die minimalen und die 5.-Perzentil-Wassertemperaturen, die aus den Berechnungen der Fernfeldsimulation berechnet wurden. Die Ergebnisse ähneln denen aus Szenario 1 unter sommerlichen Bedingungen sehr (Abschnitt 4.1.2). Die Fahne breitet sich deutlich in den Hauptgezeitenrichtungen aus. Dabei sind die stärksten Auswirkungen in Meeresbodennähe in der Nähe der FSRU zu beobachten. Weiter entfernt von der FSRU hingegen ist die Fahne gut in der Vertikalen vermengt. Abbildung 4-20 zeigt eine vergrößerte Darstellung nahe der FSRU. Da der größte Temperaturunterschied in Meeresbodennähe auftritt, wird nur die Temperatur in Meeresbodennähe dargestellt. Auch hier ähneln die Ergebnisse denen aus Szenario 1 sehr.



 <b>IMDC TRACTEBEL</b>  	Umgebung	 <b>IMDC</b>
TES-Proj.- Nr.: TES-WHV-VGN	FSRU Wilhelmshaven: Bericht über die Ausbreitung von Temperaturfahnen	Dok.- Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC.2016_07
TES-Code: TES-WHV-VGN-		Seite 30 von 45

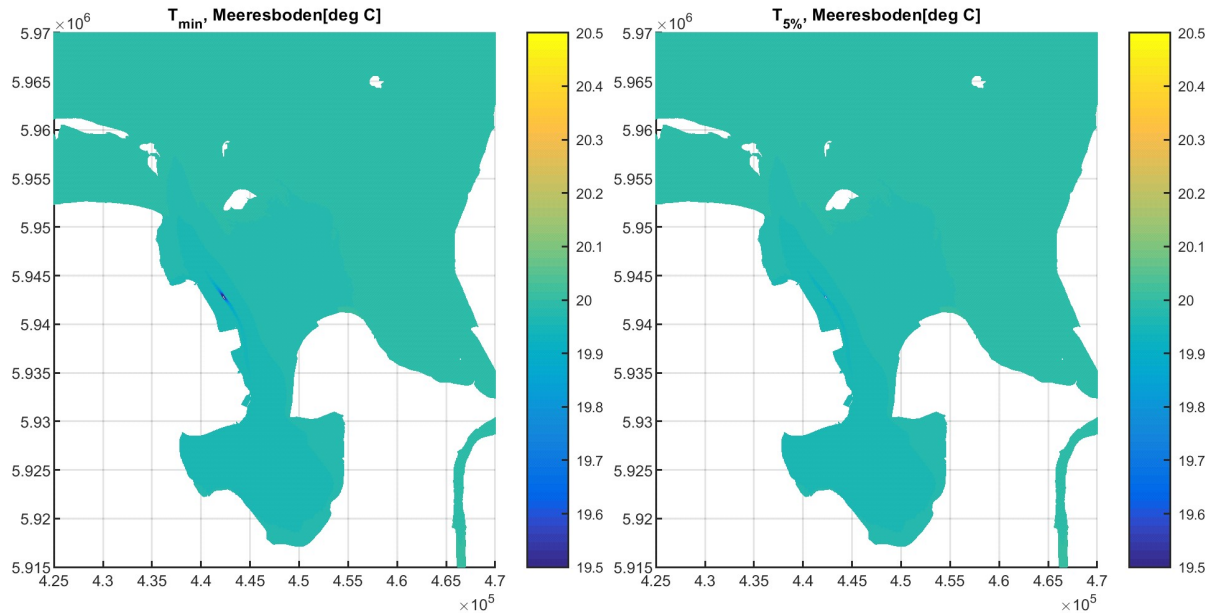


Abbildung 4-17 Minimale und 5.-Perzentil-Wassertemperaturen in Meeresbodennähe während der Simulation des kombinierten Sommerszenarios.

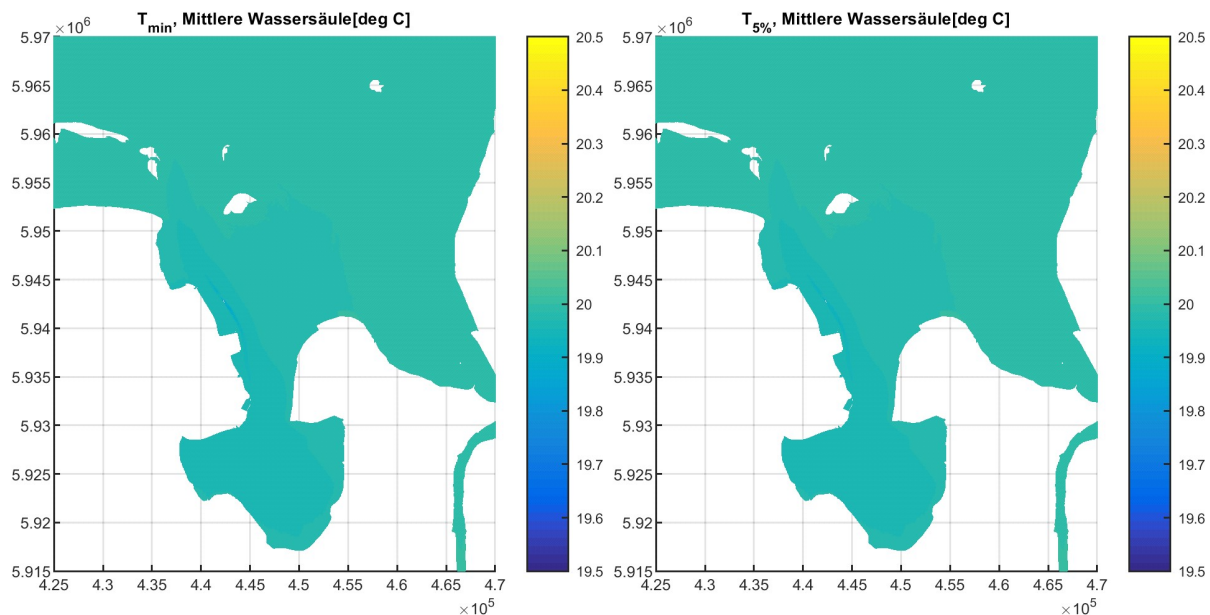






Abbildung 4-18 Minimale und 5.-Perzentil-Wassertemperaturen in der Mitte der Wassersäule während der Simulation des kombinierten Sommerszenarios.



 <b>IMDC TRACTEBEL</b>  	Umgebung	 <b>IMDC</b>
TES-Proj.- Nr.: TES-WHV-VGN	FSRU Wilhelmshaven: Bericht über die Ausbreitung von Temperaturfahnen	Dok.- Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC.2016_07
TES-Code: TES-WHV-VGN-		Seite 31 von 45

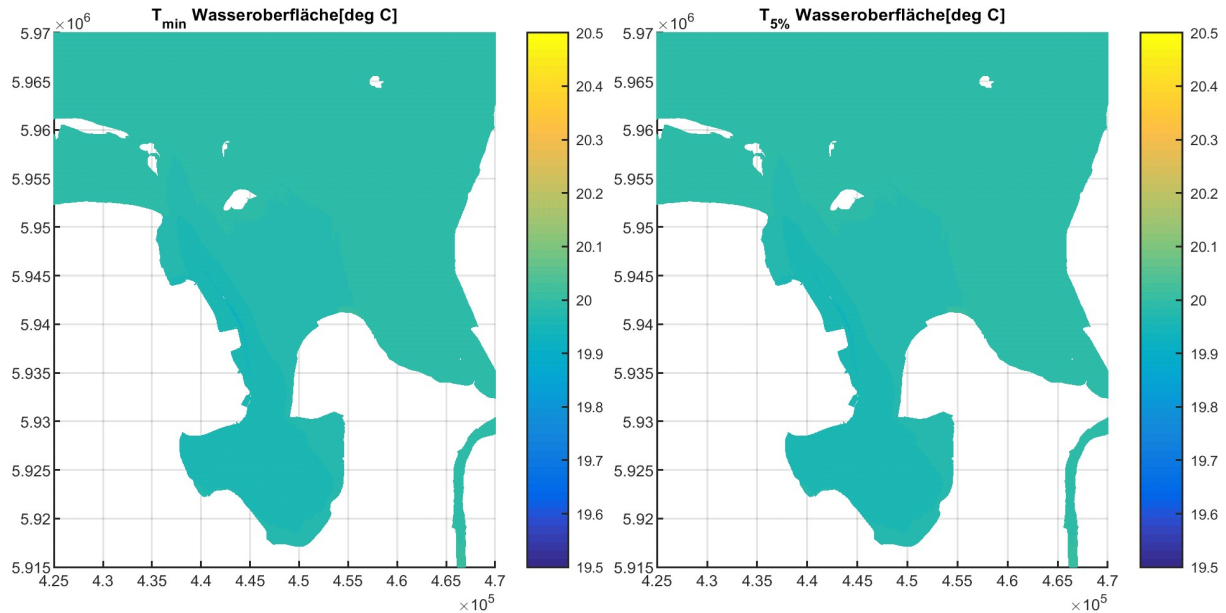


Abbildung 4-19 Minimale und 5.-Perzentil-Wassertemperaturen an der Wasseroberfläche während der Simulation des kombinierten Sommerszenarios.

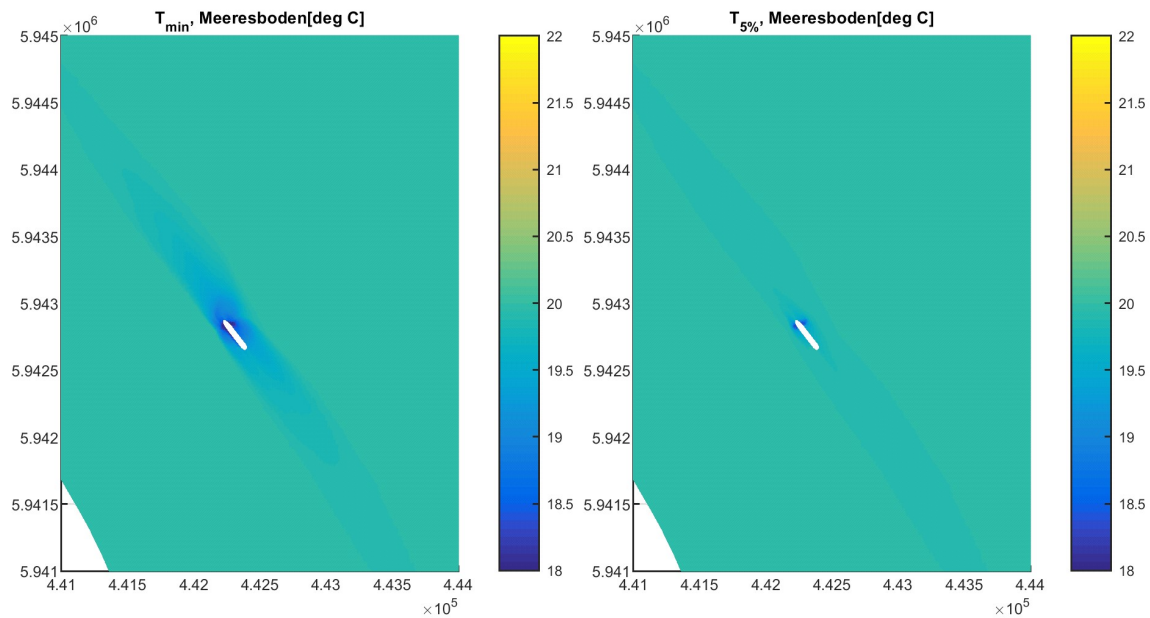


Abbildung 4-20 Vergrößerte Darstellung der minimalen und 5.-Perzentil-Wassertemperaturen in Meeresbodennähe während der Simulation des kombinierten Sommerszenarios. Die Farbskala ist anders als bei den vorangehenden Abbildungen.





	Umgebung	
TES-Proj.- Nr.: TES-WHV-VGN	FSRU Wilhelmshaven: Bericht über die Ausbreitung von Temperaturfahnen	Dok.- Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC.2016_07
TES-Code: TES-WHV-VGN-		Seite 32 von 45

Abbildung 4-21 bis Abbildung 4-23 zeigen die maximalen und 95.-Perzentil-Wassertemperaturen oben, in der Mitte und unten in der Wassersäule. Die Warmwasserfahnen beschränken sich im Unterschied zur Kaltwasserfahne auf einen kleineren Bereich. Die stärkste Auswirkung tritt an der Wasseroberfläche auf; tiefer in der Wassersäule nimmt sie ab. Abbildung 4-24 zeigt eine vergrößerte Darstellung der maximalen Wassertemperatur an der Wasseroberfläche. Dieser Abbildung zufolge tritt die Fahne an der Backbordseite der FSRU auf. (Dort erfolgt auch die größte Freisetzung von Warmwasser.) Der maximale Temperaturunterschied liegt bei ca. 1 [°C]. Die Fahne ist nicht ganz symmetrisch ausgebildet. Die Fahne weist bei Ebbe und bei Flut allerdings eine ähnliche Breite auf.

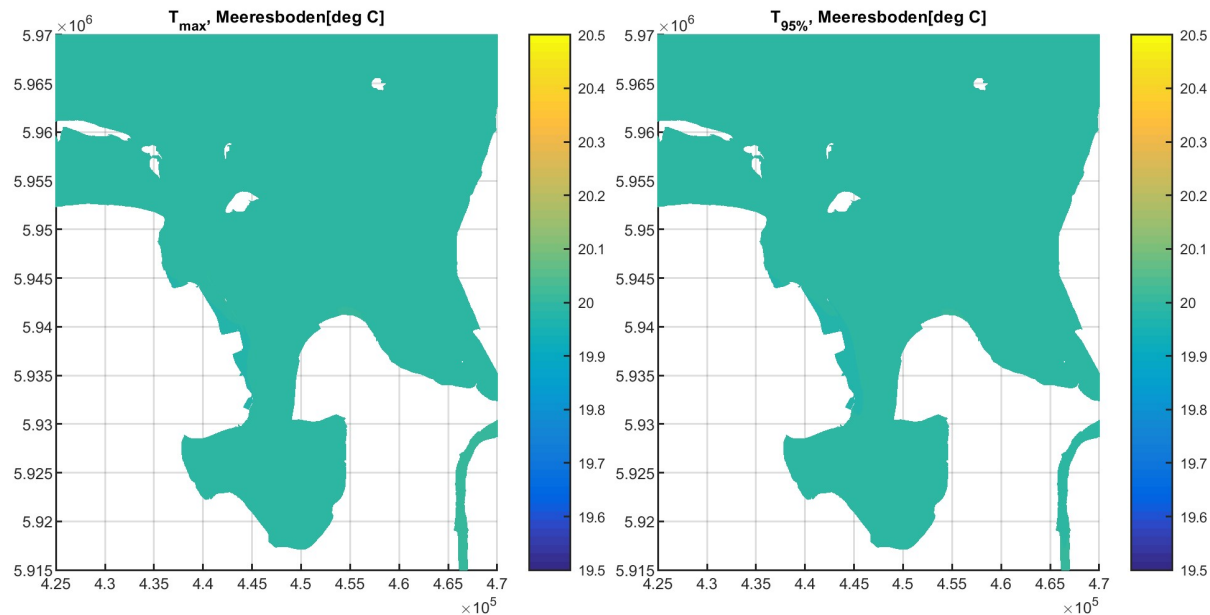






Abbildung 4-21 Maximale und 95.-Perzentil-Wassertemperaturen in Meeresbodennähe während der Simulation des kombinierten Szenarios.



 <b>IMDC TRACTEBEL</b>  	Umgebung	 <b>IMDC</b>
TES-Proj.- Nr.: TES-WHV-VGN	FSRU Wilhelmshaven: Bericht über die Ausbreitung von Temperaturfahnen	Dok.- Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC.2016_07
TES-Code: TES-WHV-VGN-		Seite 33 von 45

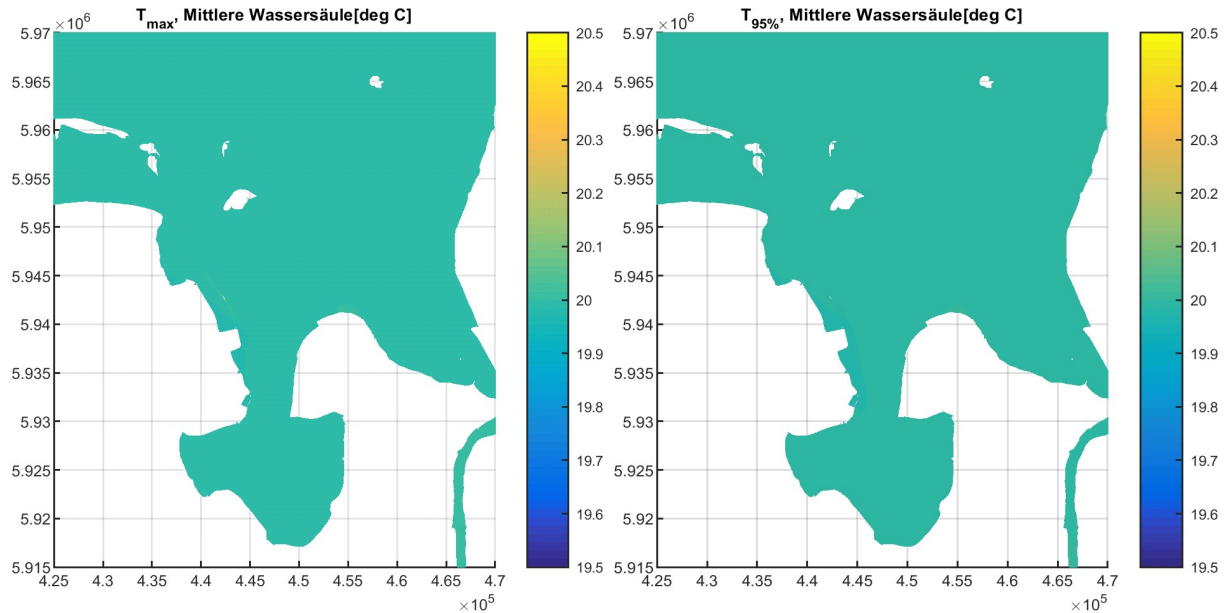


Abbildung 4-22 Maximale und 95.-Perzentil-Wassertemperaturen in der Mitte der Wassersäule während der Simulation des kombinierten Szenarios.

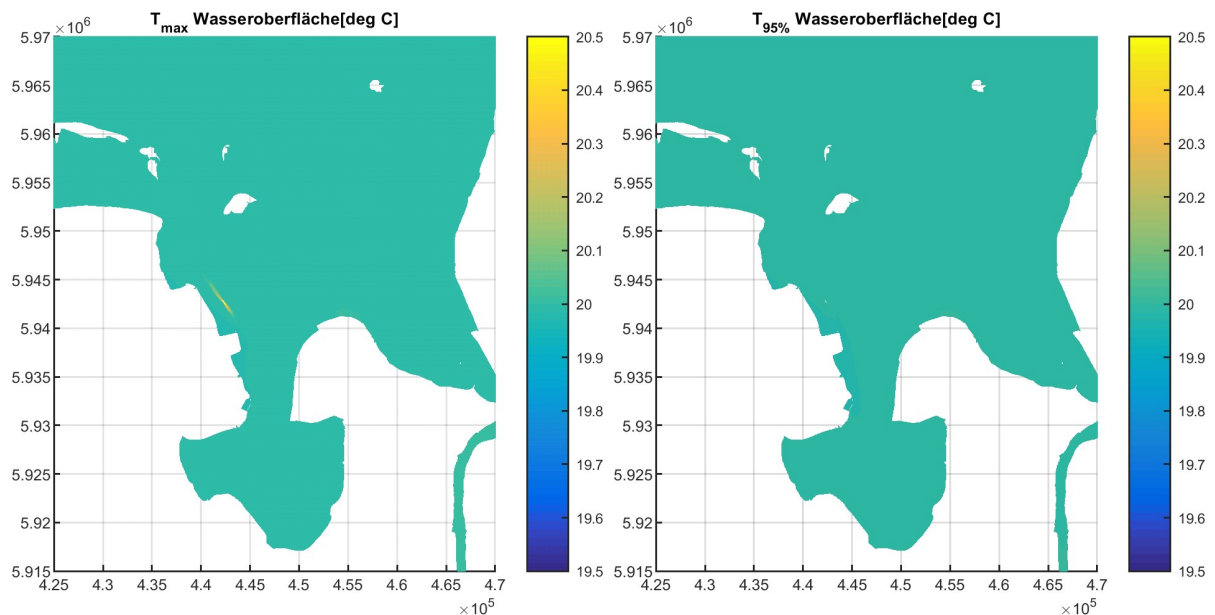






Abbildung 4-23 Maximale und 95.-Perzentil-Wassertemperaturen an der Wasseroberfläche während der Simulation des kombinierten Szenarios.



 <b>IMDC TRACTEBEL</b>  	Umgebung	 <b>IMDC</b>
TES-Proj.- Nr.: TES-WHV-VGN	FSRU Wilhelmshaven: Bericht über die Ausbreitung von Temperaturfahnen	Dok.- Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC.2016_07
TES-Code: TES-WHV-VGN-		Seite 34 von 45

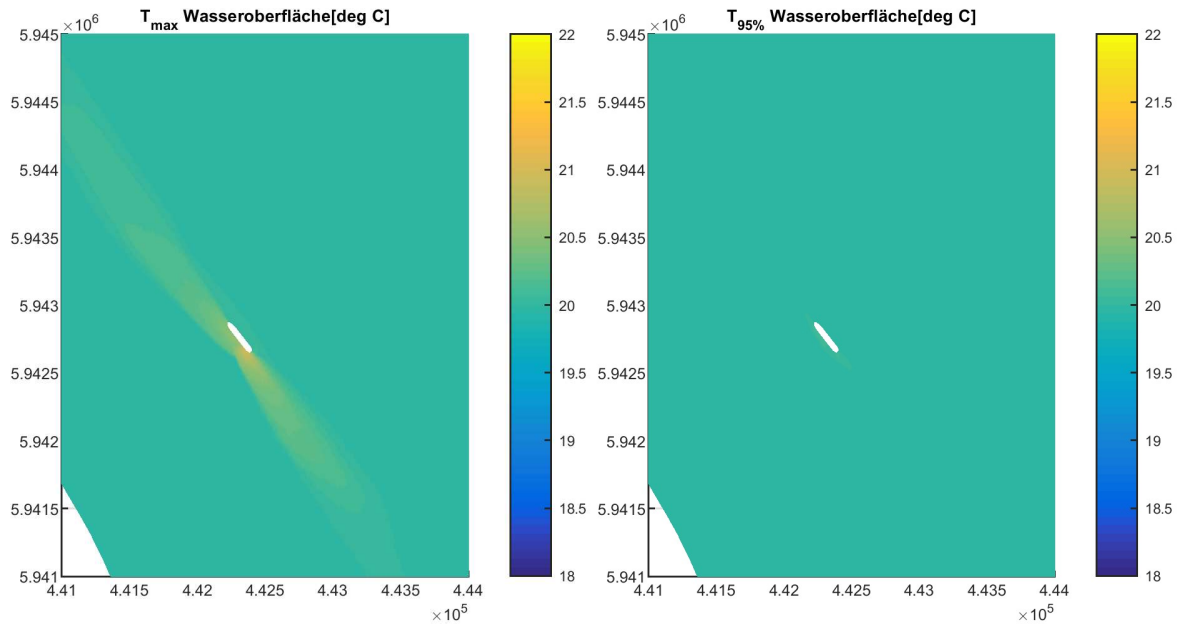




Abbildung 4-24 Vergrößerte Darstellung der maximalen und 95.-Perzentil-Wassertemperaturen an der Wasseroberfläche während der Simulation des kombinierten Szenarios. Die Farbskala ist anders als bei den vorangehenden Abbildungen.



	Umgebung	
TES-Proj.- Nr.: TES-WHV-VGN	FSRU Wilhelmshaven: Bericht über die Ausbreitung von Temperaturfahnen	Dok.- Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC.2016_07
TES-Code: TES-WHV-VGN-		Seite 35 von 45

## 5 Schlussfolgerungen





In diesem Bericht erfolgte unter Zuhilfenahme eines Nah- und eines Fernfeldmodells eine Untersuchung der Ausbreitung der Kalt- und Warmwasserfahnen, die von der FSRU ausgehen. Bei der Nahfeldmodellierung wurde eine einfache Lagrange-Fahne verwendet. Die Fernfeldmodellierung stützt sich auf ein TELEMAT-3-D-Modell des Weser-Ästuars und des Jadebusens für eine Reihe von Spring-Nipp-Zeiträumen (84 Tage).

Es wurden drei Szenarien untersucht: ein Sommerszenario (Freisetzung nur von Heizwasser – kälter als das umgebende Wasser), ein Winterszenario (Freisetzung nur von Kühlwasser – wärmer als das umgebende Wasser) und ein kombiniertes Szenario.

Wie das Nahfeldmodell ergab, vermischt die Heizwasserfahne sich rasch und sinkt schnell zum Meeresboden ab. Die Kühlwasserfahne hingegen vermischt sich weitaus langsamer. Dennoch bewegt sie sich abwärts. Denn die anfängliche Abwärtsgeschwindigkeit wirkt sich stärker aus als der aufwärts gerichtete Auftrieb der Warmwasserfahne.

Im Fernfeldmodell zeigt sich, dass die Fahnen sich nahe der FSRU in Ebb- und Flutfließrichtung verbreiten, und dabei eher schmal bleiben. Weiter entfernt von diesen Richtungen kommt es zu leichten Temperaturunterschieden. Die Ausbreitung wird von den Untiefen östlich des Projektstandorts aufgehalten. In qualitativer Hinsicht ähnelt sich das Verhalten der Kalt- und der Warmwasserfahne. Quantitativ besehen ist die Kaltwasserfahne jedoch größer. Dies liegt an der größeren Wassermenge, die in Form dieser Fahne freigesetzt wird. Bei der Kaltwasserfahne zeigen sich Temperaturunterschiede von mehr als 0,5 [°C] innerhalb von 400 m von der Mitte der FSRU. Temperaturunterschiede über 0,1 [°C] wurden nur in einem Umkreis von 5000 m von der Mitte der FSRU angetroffen. Bei der Warmwasserfahne zeigten sich Temperaturunterschiede von mehr als 0,5 [°C] innerhalb von 250 m von der Mitte der FSRU. Temperaturunterschiede über 0,1 [°C] wurden nur in einem Umkreis von 2500 m von der Mitte der FSRU angetroffen. Der maximale Momentan Temperatur in diesem Bereich beträgt ca. 2,5 [°C] und tritt sehr nahe an der FSRU auf (Szenario 1: sommerliche Bedingungen). Gemäß 95.-Perzentilkarte kommt er in diesem Ausmaß jedoch recht selten vor. Der höchste Temperaturunterschied, der aus der 95.-Perzentilkarte hervorgeht, beträgt lediglich 1,5[°C].







 <b>IMDC TRACTEBEL</b>  	Umgebung	 <b>IMDC</b>
TES-Proj.- Nr.: TES-WHV-VGN	FSRU Wilhelmshaven: Bericht über die Ausbreitung von Temperaturfahnen	Dok.- Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC.2016_07
TES-Code: TES-WHV-VGN-		Seite 36 von 45

## 6 Literaturangaben

Lee J.H. & Cheung V. (1990). Generalized Lagrangian model for buoyant jets in current. *Journal of Environmental Engineering*, 116(6), 1085–1106.



 <b>IMDC TRACTEBEL</b>  	Umgebung	 <b>IMDC</b>
TES-Proj.- Nr.: TES-WHV-VGN	FSRU Wilhelmshaven: Bericht über die Ausbreitung von Temperaturfahnen	Dok.- Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC.2016_07
TES-Code: TES-WHV-VGN-		Seite 37 von 45

## Anhang A

### A.1 Statistiken zu Szenario 1, sommerliche Bedingungen

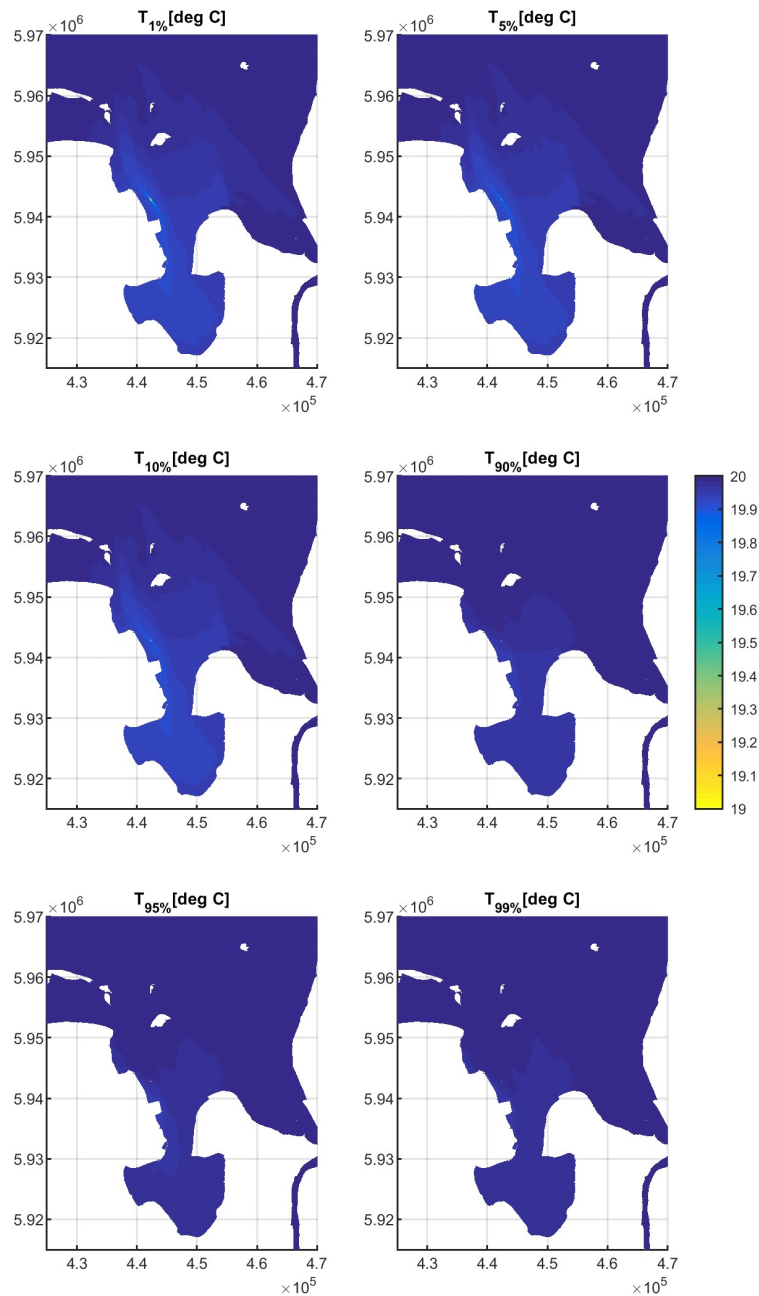




Abbildung Anhang A-1: Statistiken zu den Wassertemperaturen in Meeresbodennähe im Sommerszenario



		
TES-Proj.- Nr.: TES-WHV-VGN	FSRU Wilhelmshaven: Bericht über die Ausbreitung von Temperaturfahnen	Dok.- Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU- ENV-DOC.2016_07
TES-Code: TES-WHV-VGN-		Seite 38 von 45

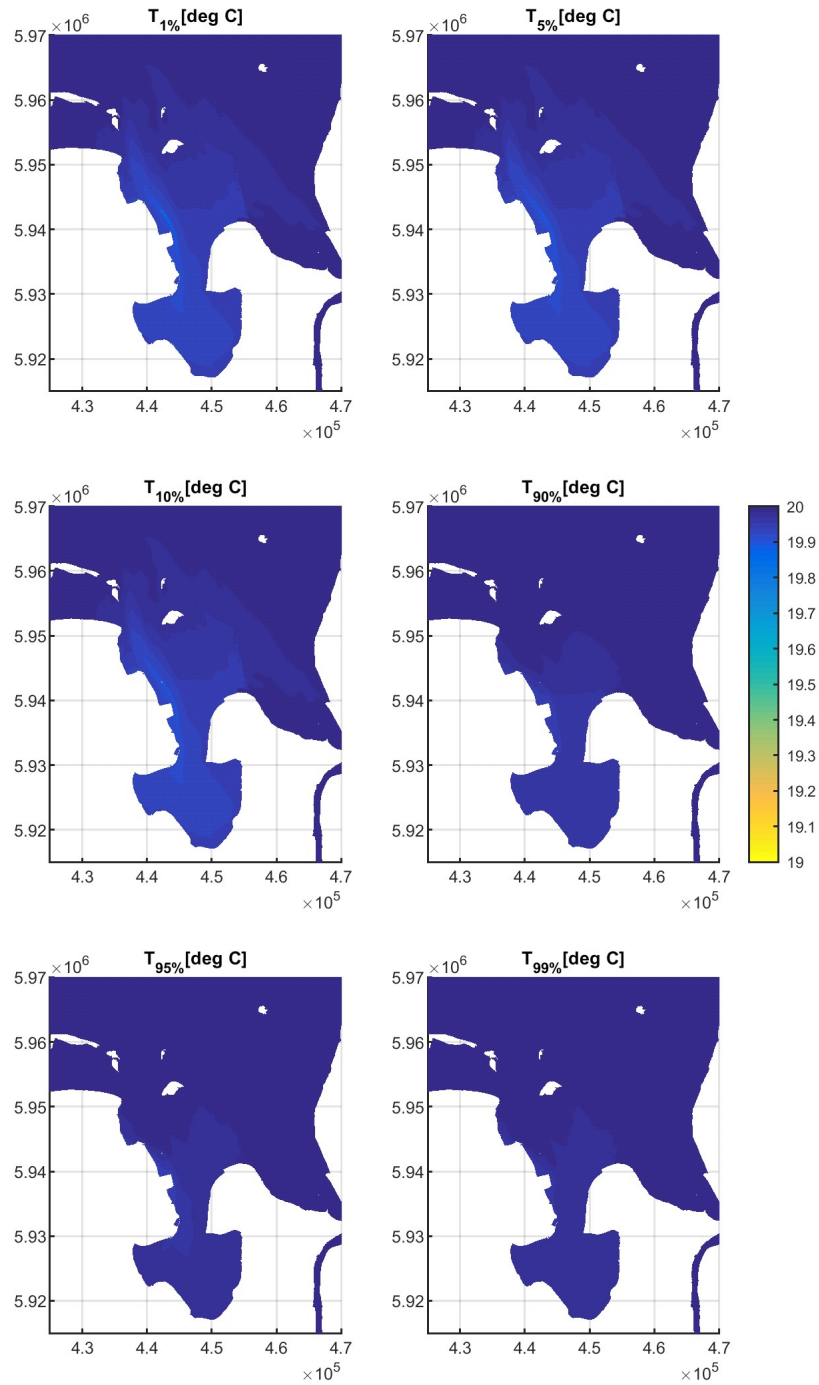






Abbildung Anhang A-2: Statistiken zu den Wassertemperaturen in der Mitte der Wassersäule im Sommerszenario



 <b>IMDC TRACTEBEL</b>  	Umgebung	 <b>IMDC</b>
TES-Proj.- Nr.: TES-WHV-VGN	FSRU Wilhelmshaven: Bericht über die Ausbreitung von Temperaturfahnen	Dok.- Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC.2016_07
TES-Code: TES-WHV-VGN-		Seite 39 von 45

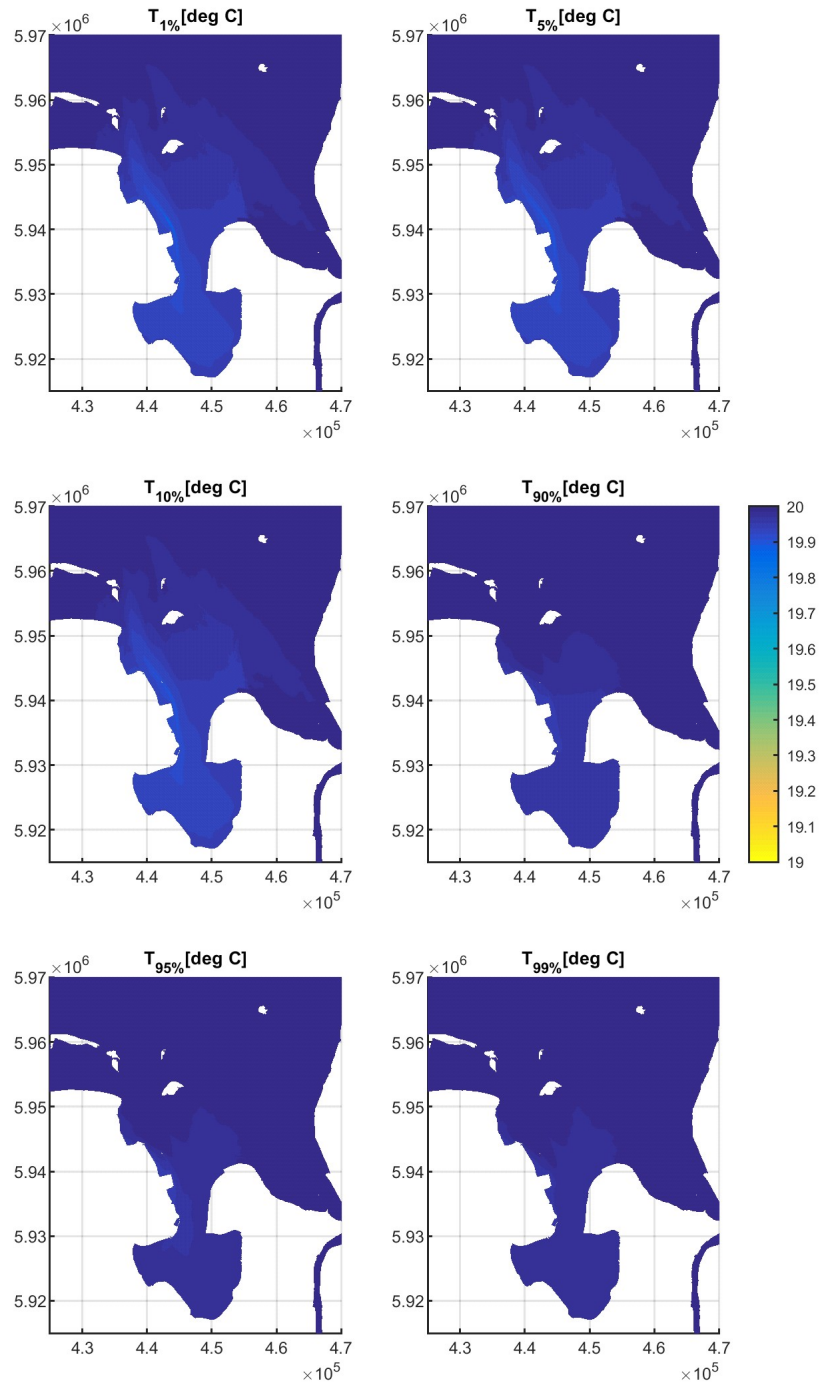






Abbildung Anhang A-3: Statistiken zu den Wassertemperaturen an der Wasseroberfläche im Sommerszenario



 <b>IMDC TRACTEBEL</b>  	Umgebung	 <b>IMDC</b>
TES-Proj.- Nr.: TES-WHV-VGN	FSRU Wilhelmshaven: Bericht über die Ausbreitung von Temperaturfahnen	Dok.- Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC.2016_07
TES-Code: TES-WHV-VGN-		Seite 40 von 45

## A.2 Statistiken zu Szenario 2, winterliche Bedingungen

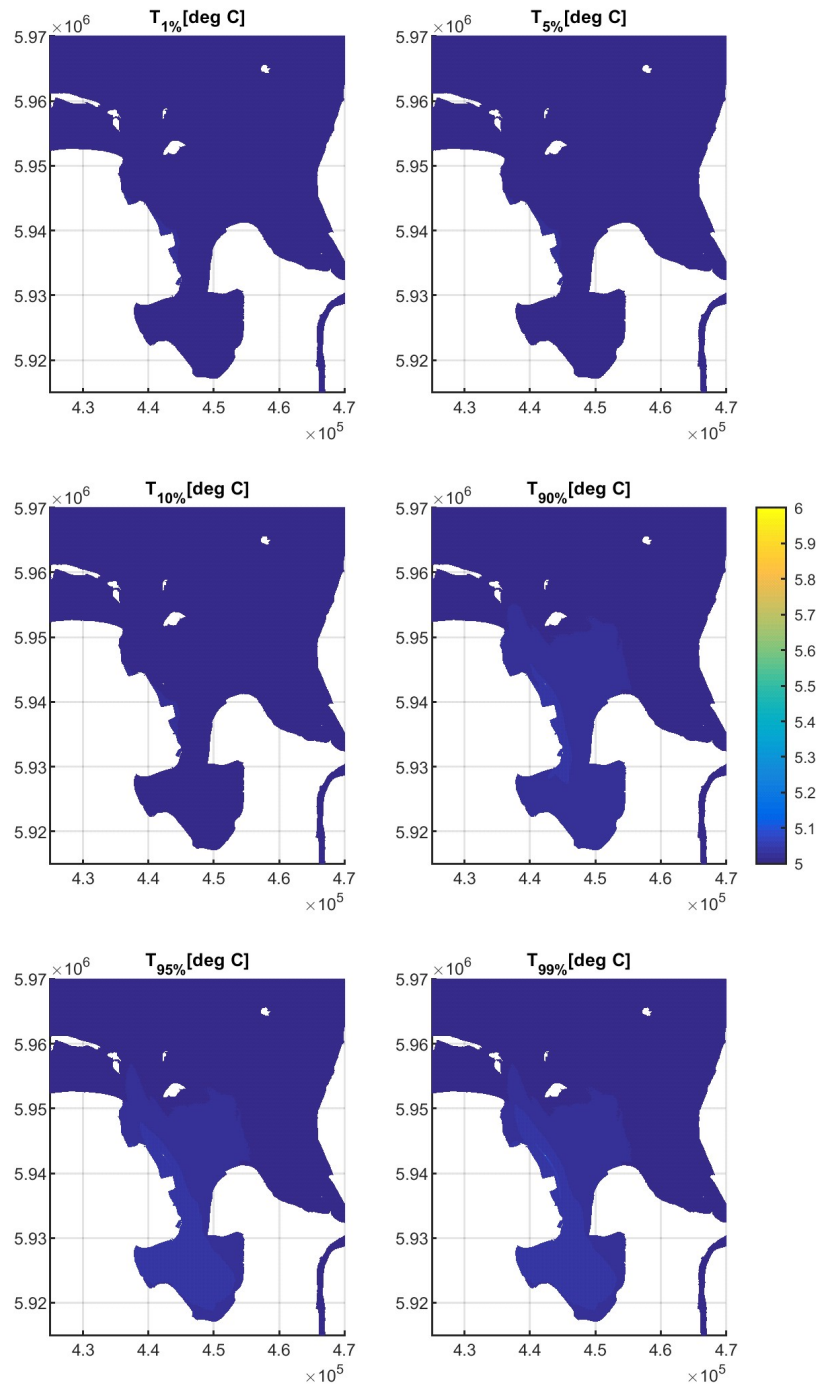






Abbildung Anhang A-4: Statistiken zu den Wassertemperaturen in Meeresbodennähe im Winterszenario



 <b>IMDC TRACTEBEL</b>  	Umgebung	 <b>IMDC</b>
TES-Proj.- Nr.: TES-WHV-VGN	FSRU Wilhelmshaven: Bericht über die Ausbreitung von Temperaturfahnen	Dok.- Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC.2016_07
TES-Code: TES-WHV-VGN-		Seite 41 von 45

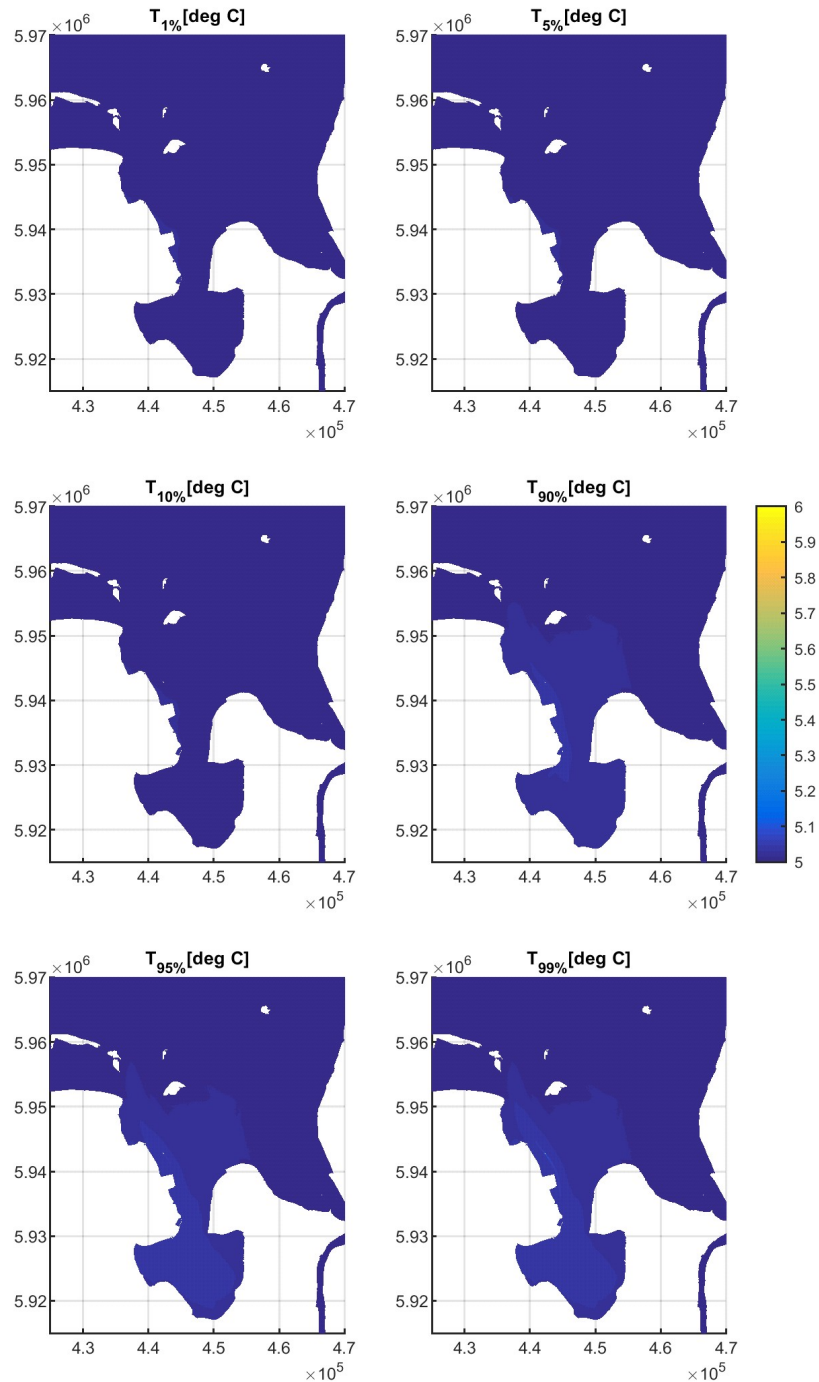






Abbildung Anhang A-5: Statistiken zu den Wassertemperaturen in der Mitte der Wassersäule im Winterszenario



 <b>IMDC TRACTEBEL</b>  	Umgebung	 <b>IMDC</b>
TES-Proj.- Nr.: TES-WHV-VGN	FSRU Wilhelmshaven: Bericht über die Ausbreitung von Temperaturfahnen	Dok.- Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC.2016_07
TES-Code: TES-WHV-VGN-		Seite 42 von 45

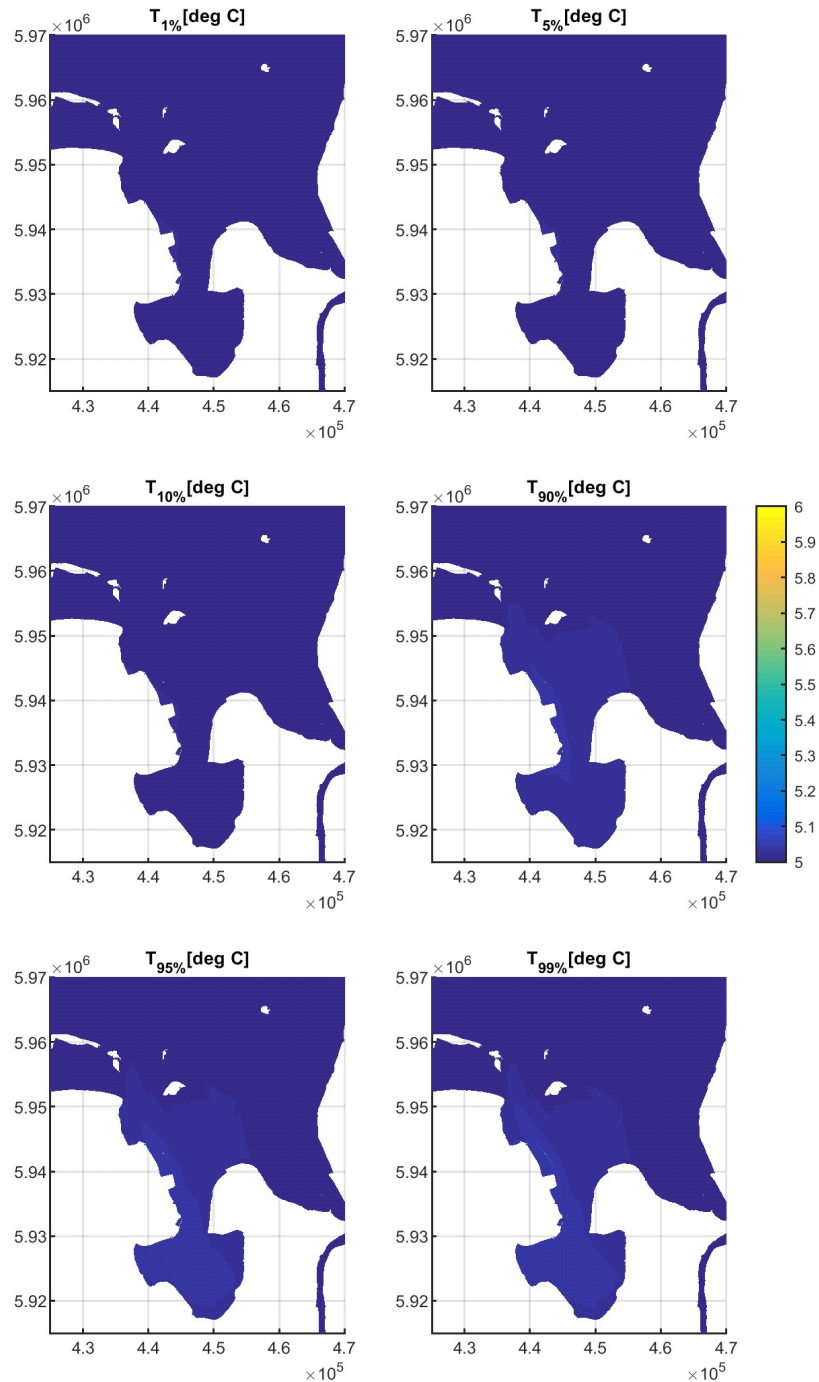






Abbildung Anhang A-6: Statistiken zu den Wassertemperaturen an der Wasseroberfläche im Winterszenario



 <b>IMDC TRACTEBEL</b>  	Umgebung	 <b>IMDC</b>
TES-Proj.- Nr.: TES-WHV-VGN	FSRU Wilhelmshaven: Bericht über die Ausbreitung von Temperaturfahnen	Dok.- Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC.2016_07
TES-Code: TES-WHV-VGN-		Seite 43 von 45

### A.3 Statistiken zu Szenario 3, kombiniert bei sommerlichen Bedingungen

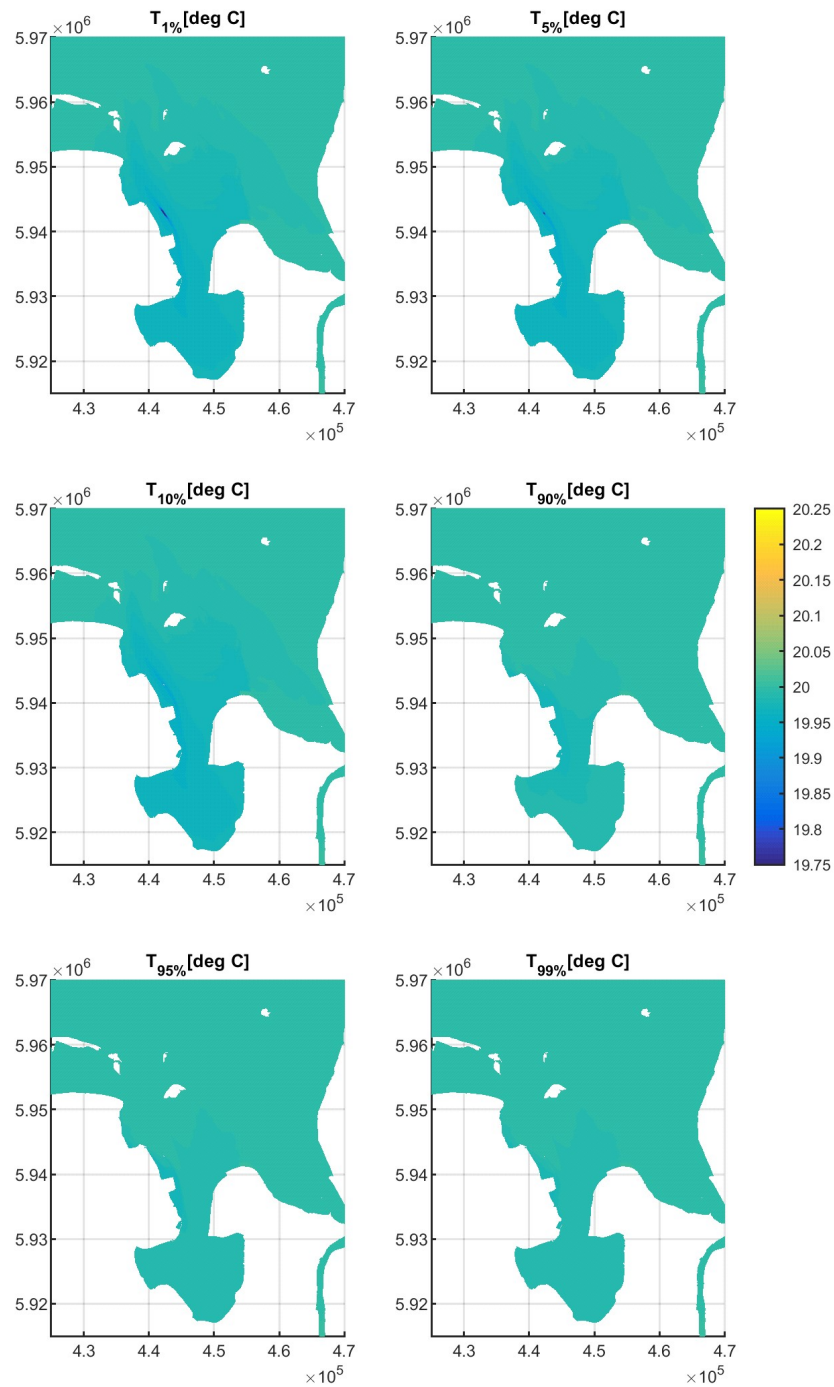






Abbildung Anhang A-7: Statistiken zu den Wassertemperaturen in Meeresbodennähe im kombinierten Sommerszenario



 <b>IMDC TRACTEBEL</b>  	Umgebung	 <b>IMDC</b>
TES-Proj.- Nr.: TES-WHV-VGN	FSRU Wilhelmshaven: Bericht über die Ausbreitung von Temperaturfahnen	Dok.- Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC.2016_07
TES-Code: TES-WHV-VGN-		Seite 44 von 45

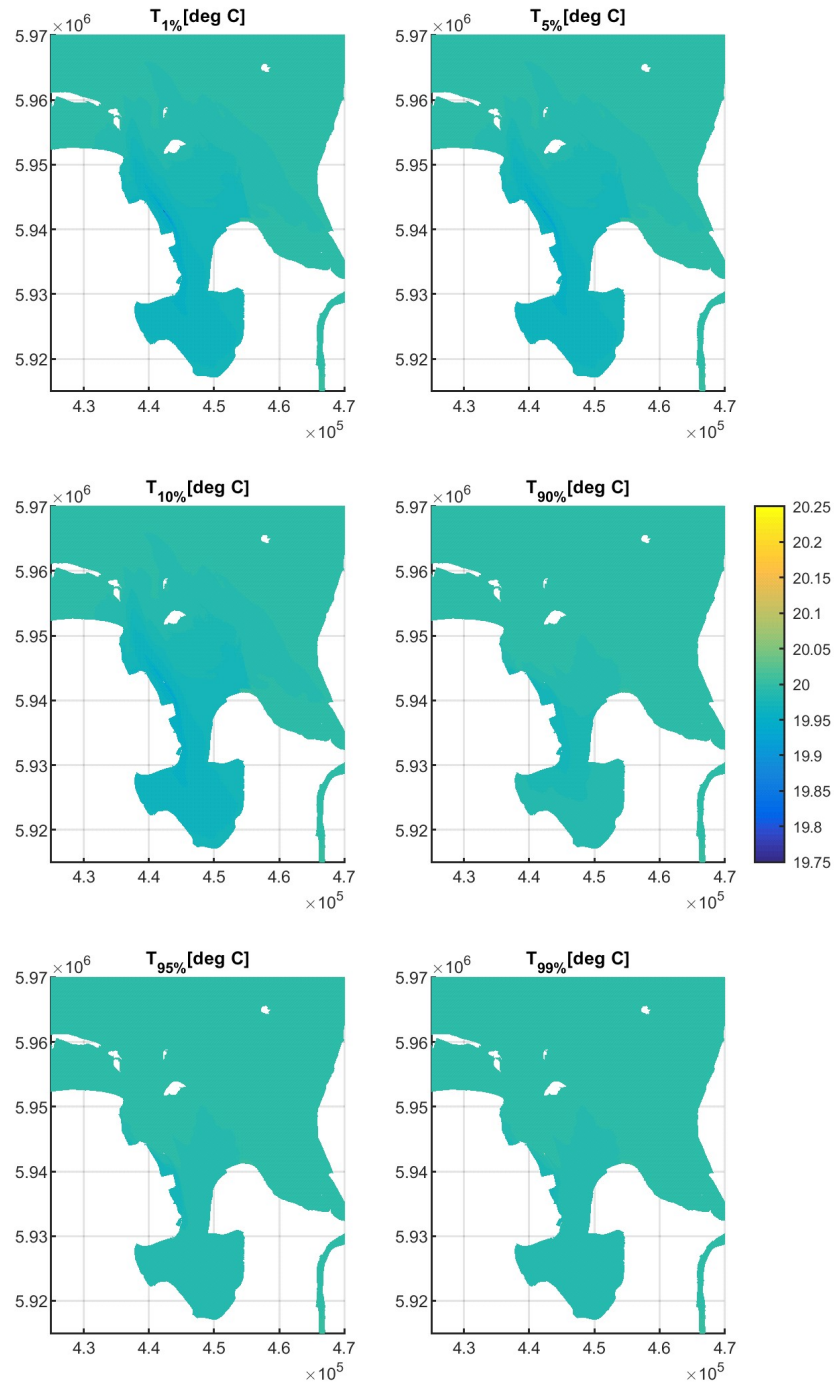






Abbildung Anhang A-8: Statistiken zu den Wassertemperaturen in der Mitte der Wassersäule im kombinierten Sommerszenario



 <b>IMDC TRACTEBEL</b>  	Umgebung	 <b>IMDC</b>
TES-Proj.- Nr.: TES-WHV-VGN	FSRU Wilhelmshaven: Bericht über die Ausbreitung von Temperaturfahnen	Dok.- Nr.: TES-WHV-VGN-FSRU-ENV-DOC.2016_07
TES-Code: TES-WHV-VGN-		Seite 45 von 45

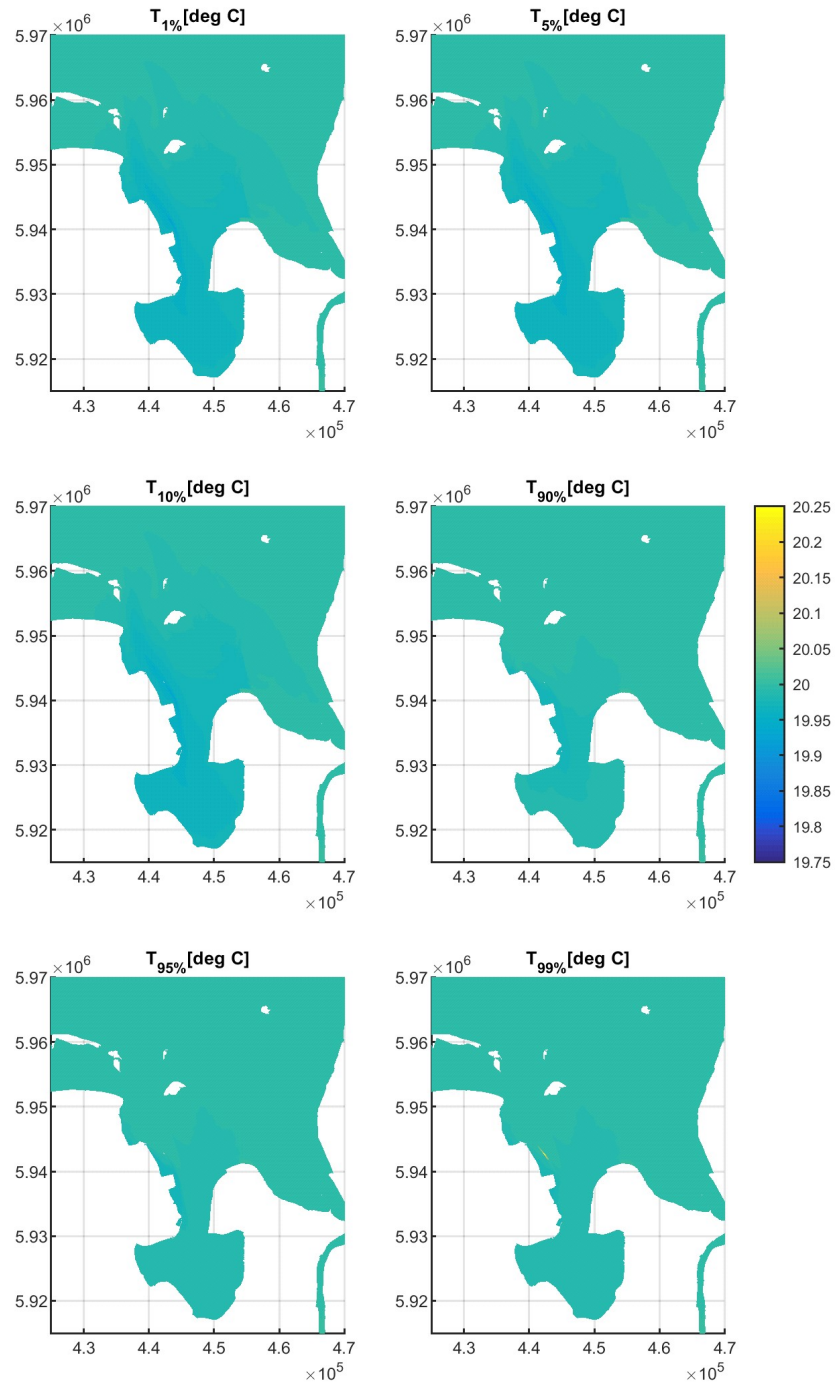


Abbildung Anhang A-9: Statistiken zu den Wassertemperaturen an der Wasseroberfläche im kombinierten Sommerszenario