



BUNDESANSTALT FÜR WASSERBAU
KARLSRUHE · HAMBURG · ILMENAU

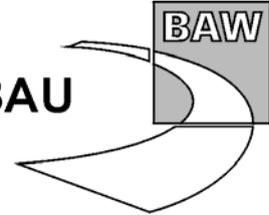
BAW



GUTACHTEN

Kraftwerksstandort Wilhelmshaven:

**Wasserbauliche Potenzialanalyse
zur Kühlwassereinleitung**



**Kraftwerksstandort Wilhelmshaven: Wasserbauliche
Potenzialanalyse zur Kühlwassereinleitung**

Auftraggeber: Stadt Wilhelmshaven
Fachbereich Stadtplanung und Stadterneuerung
Rathausplatz 9
26382 Wilhelmshaven

Auftrag vom: 22.11.2006

Auftrags-Nr.: BAW-Nr. A 3955 02 10084

Aufgestellt von: Abteilung: Wasserbau im Küstenbereich
Referat: Ästuarsysteme I (K2)
Bearbeiter: Dr.-Ing. H. Schüttrumpf
Dipl.-Ing. (FH) U. Schiller

Hamburg, 19.07.2007

Das Gutachten darf nur ungekürzt vervielfältigt werden. Die Vervielfältigung und eine Veröffentlichung bedürfen der schriftlichen Genehmigung der BAW.



Zusammenfassung

Am Kraftwerkstandort Wilhelmshaven bestehen derzeit Erweiterungspläne für zwei neue Kraftwerksblöcke auf dem E.ON-Betriebsgelände sowie Neubaupläne für zwei weitere Kraftwerksblöcke der ELECTRABEL-Deutschland AG auf den nördlich angrenzenden Flächen. Die Stadt Wilhelmshaven – Fachbereich Stadtplanung und Stadterneuerung - beauftragte in Abstimmung mit E.ON und ELECTRABEL die Bundesanstalt für Wasserbau mit der Durchführung einer wasserbaulichen Systemanalyse als Beitrag für die Bauleitplanung zum Kraftwerkstandort Wilhelmshaven. Ziel des BAW-Gutachtens ist die Ermittlung von Grundlagen für die Verträglichkeitsprüfung derzeitiger Planungen zum Ausbaupotenzial des Kraftwerkstandortes hinsichtlich einer verstärkten Kühlwassereinleitung ($130 \text{ m}^3/\text{s}$, $\Delta T = 10 \text{ K}$) mit dem Gewässersystem der Jade.

Die Kühlwassersimulationsergebnisse zeigen, dass es aufgrund der Erhöhung der Kühlwasserentnahmemenge insbesondere südlich des JadeWeserPort bis in den Jadebusen hinein zu einer Erhöhung der Wärmebelastung der Innenjade kommt. Durch die Erhöhung der Kühlwasserentnahmemenge nimmt die in die Jade eingeleitete Kraftwerksabwärme von 1255 MJ/s für $30 \text{ m}^3/\text{s}$ auf 5443 MJ/s für $130 \text{ m}^3/\text{s}$ zu. Aufgrund der Reduktion der Strömungsgeschwindigkeiten sowie der Ausbildung einer temporären Strömungswalze südlich des JadeWeserPort ist die Ausbreitung der Kühlwasserfahne nach Norden verringert und ein Großteil der Abwärme verbleibt zwischen NWO-Brücke und Südflanke des JadeWeserPort. Dadurch kommt es ufernah zu einer Erhöhung der Wassertemperaturen von bis zu 8 K sowie zu einer Verbreiterung der Kühlwasserfahne von rd. 500 m im Referenz-Zustand auf mehr als 1000 m nach Erhöhung der Kühlwassermenge. Gleichzeitig zeigen die Simulationsergebnisse bei Flutströmung einen Wärmeeintrag in den Jadebusen und eine Erhöhung der Wassertemperaturen im Bereich Bordumer Watt, Sander Watt und Stenkentief von bis zu 1 K .

Um die möglichen Temperaturerhöhungen in den verschiedenen Bereichen der Innenjade und des Jadebusens für verschiedene untersuchte Kühlwasserszenarien besser vergleichen zu können, wurden Sondermessstellen für die Ermittlung mittlerer und maximaler tiefenge-mittelter Wassertemperaturen in Abhängigkeit der eingeleiteten Abwärme eingerichtet. Diese Sondermessstellen ermöglichen eine bessere Vergleichbarkeit der Untersuchungsergebnisse und eine Interpolation für nicht untersuchte Abwärmemengen.

Die vorliegenden Untersuchungen wurden im Sinne einer Potenzialanalyse als Machbarkeitsstudie durchgeführt. Zu beachten ist, dass zum Zeitpunkt der Untersuchungen folgende Planungen noch nicht abgeschlossen waren:

- Standorte für die Kühlwasserentnahme- und –rückgabebauwerke
- Erforderliche Kühlwasserentnahmemengen je Kühlwasserentnahmestandort
- Erforderliche Aufwärmung des Kühlwassers je Kühlwasserrückgabebauwerk
- Verbaugrad der Niedersachsenbrücke (Annahme: Totalverbau mit 90 m Lücke zwischen Umschlagbrücke und Südflanke des JadeWeserPort)



Für die vorliegende Untersuchung mussten daher hinsichtlich dieser Planungen Annahmen getroffen werden. Darüber hinaus musste eine weitere Annahme zur

- langfristigen Aufsedimentation im Bereich JadeWeserPort, Niedersachsenbrücke, NWO-Brücke

getroffen werden.

Die in die vorliegende Untersuchung eingeflossenen Annahmen nehmen direkt Einfluss auf die Kühlwasserausbreitung in der Jade. In Abhängigkeit der zukünftigen Ausführungsplanung der Kraftwerkserweiterungen muss daher bei der Interpretation der vorliegenden Rechenergebnisse beachtet werden, dass örtlich insbesondere im näheren Umfeld zukünftiger Entnahme- und Rückgabebauwerke höhere Wassertemperaturen als im vorliegenden Gutachten dargestellt auftreten können. Eine nennenswert größere Ausdehnung der Kühlwasserfahne nach Süden oder Norden wird jedoch aufgrund der intensiven Vermischungsprozesse und der langen Mischungswege nicht erwartet. Ebenso wird eine nennenswert weitere Ausdehnung der Kühlwasserfahne nach Osten aufgrund der Vermischungsprozesse im tiefen Jadedeckwasser nicht erwartet. Aufgrund der konzentrierten Rückgabe des Kühlwassers am derzeitigen Standort des E.ON-Rückgabebauwerks liegen die ermittelten Wassertemperaturen dort ufernah auf der sicheren Seite. Präzisere Angaben können im Rahmen der vorliegenden Machbarkeitsstudie aufgrund der erforderlichen Annahmen nicht erfolgen.

Es wird empfohlen, für die Genehmigungs- und Ausführungsplanungen konkreter Kraftwerkserweiterungen im Rahmen eines Planfeststellungsverfahrens Detailuntersuchungen mit einem hochauflösenden 3D-HN-Modell zur Ausbreitung des Kühlwassers in der Jade durchzuführen.



Inhaltsverzeichnis		Seite
1	Veranlassung und Aufgabenstellung	1
2	Bearbeitungskonzept	3
3	Wärmehaushalt von Jadebusen, Innenjade und Außenjade	3
3.1	Nicht-anthropogene Einflüsse auf den Wärmehaushalt der Innenjade	3
3.2	Anthropogene Einflüsse auf den Wärmehaushalt der Innenjade	7
4	Modellbeschreibung	10
4.1	Mathematisches Modellverfahren	10
4.2	Modellgebiet und Gitternetz	10
4.3	Modellsteuerung, Simulations- und Analysezeitraum	11
4.4	Hinweise zum HN-Modell	12
4.5	Modellkalibrierung und -verifikation	18
5	Modellergebnisse	23
5.1	Darstellung der Kühlwasserausbreitung auf der Grundlage synoptischer Datensätze	23
5.2	Darstellung der Kühlwasserausbreitung auf der Grundlage von Analysedaten	33
5.3	Vergleich der Kühlwasserausbreitung für eine Kühlwasserentnahmemenge von 130 m ³ /s zur Kühlwasserausbreitung für eine Kühlwasserentnahmemenge von 30 m ³ /s	38
5.4	Wassertemperaturen in der Oberflächen- und der Bodenschicht für eine Kühlwasserentnahmemenge von 130 m ³ /s im Vergleich zu 30 m ³ /s	43
5.5	Temperaturauswertung an Sondermessstellen	52
6	Schlussfolgerungen und Empfehlungen	56
7	Literaturverzeichnis	58

Bildverzeichnis

Seite

Abb. 1:	Lage des E.ON-Kraftwerks in der Innenjade	2
Abb. 2.	Ausbreitung der Kühlwasserfahne im Ist-Zustand (Foto: E.ON-Kraftwerke GmbH, Wilhelmshaven)	2
Abb. 3.	Satellitentemperaturbild von Jadebusen und Innenjade vom 21.2.2002; 10:16 Uhr (entsprechend 1 h 30 min vor Tideniedrigwasser) (Brockmann Consult, 2002).	6
Abb. 4.	Schematische Darstellung der Kühlwasserausbreitung in der Innenjade	9
Abb. 5.	Mächtigkeit der Kühlwasserfahne am Beispiel einer Messung am 17.10.2002 (Visscher, 2002)	9
Abb. 6.	Modellgebiet des 3D-HN – Modells des Jade-Weser-Ästuars und Detailausschnitt im Bereich des E.ON-Kraftwerks	11
Abb. 7.	Übersicht der in der Modellsteuerung berücksichtigten Randwerte	12
Abb. 8.	JadeWeserPort	15
Abb. 9.	Verbau der Niedersachsenbrücke	16
Abb. 10.	Angenommener Systemzustand der Innenjade nach langfristiger morphologischer Entwicklung	17
Abb. 11.	Kühlwasserrückgabeposition und uferparallele Prallwand	18
Abb. 12.	Gegenüberstellung von gemessenen und für den Ausbauzustand berechneten Wasserstandszeitreihen am Pegel Wilhelmshaven (Neuer Vorhafen)	19
Abb. 13.	Gegenüberstellung von gemessenen und für den Ausbauzustand berechneten Wasserstandszeitreihen am Pegel Schillig	19
Abb. 14.	Maximale Ausbreitung der Kühlwasserfahne im Referenzzustand	21
Abb. 15.	Kühlwasserentnahmetemperaturen durch Kühlwasserkurzschluss am vorhandenen Kühlwasserentnahmebauwerk	22
Abb. 16.	Berechnete Kühlwasserentnahmetemperaturen in einer Wassertiefe von NN-7,5m	22
Abb. 17.	Tiefengemittelte Strömungsgeschwindigkeiten und Wassertemperatur für den Ausbauzustand. Simulationszeitpunkt: 13.06.2002 08:00 Uhr	25
Abb. 18.	Tiefengemittelte Strömungsgeschwindigkeiten und Wassertemperatur für den Ausbauzustand. Simulationszeitpunkt: 13.06.2002 09:00 Uhr	25
Abb. 19.	Tiefengemittelte Strömungsgeschwindigkeiten und Wassertemperatur für den Ausbauzustand. Simulationszeitpunkt: 13.06.2002 10:00 Uhr	26
Abb. 20.	Tiefengemittelte Strömungsgeschwindigkeiten und Wassertemperatur für den Ausbauzustand. Simulationszeitpunkt: 13.06.2002 11:00 Uhr	26
Abb. 21.	Tiefengemittelte Strömungsgeschwindigkeiten und Wassertemperatur für den Ausbauzustand. Simulationszeitpunkt: 13.06.2002 12:00 Uhr	27
Abb. 22.	Tiefengemittelte Strömungsgeschwindigkeiten und Wassertemperatur für den Ausbauzustand. Simulationszeitpunkt: 13.06.2002 13:00 Uhr	27
Abb. 23.	Tiefengemittelte Strömungsgeschwindigkeiten und Wassertemperatur für den Ausbauzustand. Simulationszeitpunkt: 13.06.2002 14:00 Uhr	28



Abb. 24.	Tiefengemittelte Strömungsgeschwindigkeiten und Wassertemperatur für den Ausbauzustand. Simulationszeitpunkt: 13.06.2002 15:00 Uhr	28
Abb. 25.	Tiefengemittelte Strömungsgeschwindigkeiten und Wassertemperatur für den Ausbauzustand. Simulationszeitpunkt: 13.06.2002 16:00 Uhr	29
Abb. 26.	Tiefengemittelte Strömungsgeschwindigkeiten und Wassertemperatur für den Ausbauzustand. Simulationszeitpunkt: 13.06.2002 17:00 Uhr	29
Abb. 27.	Tiefengemittelte Strömungsgeschwindigkeiten und Wassertemperatur für den Ausbauzustand. Simulationszeitpunkt: 13.06.2002 18:00 Uhr	30
Abb. 28.	Tiefengemittelte Strömungsgeschwindigkeiten und Wassertemperatur für den Ausbauzustand. Simulationszeitpunkt: 13.06.2002 19:00 Uhr	30
Abb. 29.	Tiefengemittelte Strömungsgeschwindigkeiten und Wassertemperatur für den Ausbauzustand. Simulationszeitpunkt: 13.06.2002 20:00 Uhr	31
Abb. 30.	Tiefengemittelte Strömungsgeschwindigkeiten und Wassertemperatur für den Ausbauzustand. Simulationszeitpunkt: 13.06.2002 21:00 Uhr	31
Abb. 31.	Tiefengemittelte Strömungsgeschwindigkeiten und Wassertemperatur für den Ausbauzustand. Simulationszeitpunkt: 13.06.2002 22:00 Uhr	32
Abb. 32.	Maximale Ausdehnung der Kühlwasserfahne bei Flut- und Ebbeströmung	32
Abb. 33.	Definition der charakteristischen Temperaturkennwerte	33
Abb. 34.	Mittlere tiefengemittelte Temperaturen für den Ausbauzustand im Bereich zwischen NWO-Brücke und JadeWeserPort für Spring- (links) und Nipptideverhältnisse (rechts)	35
Abb. 35.	Maximale tiefengemittelte Temperaturen für den Ausbauzustand im Bereich zwischen NWO-Brücke und JadeWeserPort für Spring- (links) und Nipptideverhältnisse (rechts)	35
Abb. 36.	Mittlere tiefengemittelte Temperaturen für den Ausbauzustand in Außenjade, Innenjade und Jadebusen für Spring- (links) und Nipptideverhältnisse (rechts)	36
Abb. 37.	Maximale tiefengemittelte Temperaturen für den Ausbauzustand in Außenjade, Innenjade und Jadebusen für Spring- (links) und Nipptideverhältnisse (rechts)	36
Abb. 38.	Mittlere tiefengemittelte Temperaturen für den Ausbauzustand im Jadebusen für Spring- (links) und Nipptideverhältnisse (rechts)	37
Abb. 39.	Maximale tiefengemittelte Temperaturen für den Ausbauzustand im Jadebusen für Spring- (links) und Nipptideverhältnisse (rechts)	37
Abb. 40.	Mittlere tiefengemittelte Wassertemperaturen für eine Kühlwassermenge von 130 m ³ /s (links) und 30 m ³ /s (rechts) und Nipptideverhältnisse	39
Abb. 41.	Maximale tiefengemittelte Wassertemperaturen für eine Kühlwassermenge von 130 m ³ /s (links) und 30 m ³ /s (rechts) und Nipptideverhältnisse	39
Abb. 42.	Differenzdarstellung – Erhöhung der mittleren und maximalen Wassertemperaturen infolge einer Kühlwassermenge von 130 m ³ /s für den Ausbauzustand gegenüber dem Referenzzustand mit einer Kühlwassermenge von 30 m ³ /s	40



Abb. 43.	Mittlere tiefengemittelte Wassertemperaturen für eine Kühlwassermenge von 130 m ³ /s (links) und 30 m ³ /s (rechts) und Nipptideverhältnisse (Legende!)	41
Abb. 44.	Maximale tiefengemittelte Wassertemperaturen für eine Kühlwassermenge von 130 m ³ /s (links) und 30 m ³ /s (rechts) und Nipptideverhältnisse (Legende!)	41
Abb. 45.	Mittlere tiefengemittelte Wassertemperaturen für eine Kühlwassermenge von 130 m ³ /s (links) und 30 m ³ /s (rechts) und Nipptideverhältnisse	42
Abb. 46.	Maximale tiefengemittelte Wassertemperaturen für eine Kühlwassermenge von 130 m ³ /s (links) und 30 m ³ /s (rechts) und Nipptideverhältnisse	42
Abb. 47.	Wassertemperaturen in der Boden- und der Oberflächenschicht für den Ausbauzustand. Simulationszeitpunkt: 13.06.2002 08:00 Uhr	44
Abb. 48.	Wassertemperaturen in der Boden- und der Oberflächenschicht für den Ausbauzustand. Simulationszeitpunkt: 13.06.2002 09:00 Uhr	44
Abb. 49.	Wassertemperaturen in der Boden- und der Oberflächenschicht für den Ausbauzustand. Simulationszeitpunkt: 13.06.2002 10:00 Uhr	45
Abb. 50.	Wassertemperaturen in der Boden- und der Oberflächenschicht für den Ausbauzustand. Simulationszeitpunkt: 13.06.2002 11:00 Uhr	45
Abb. 51.	Wassertemperaturen in der Boden- und der Oberflächenschicht für den Ausbauzustand. Simulationszeitpunkt: 13.06.2002 12:00 Uhr	46
Abb. 52.	Wassertemperaturen in der Boden- und der Oberflächenschicht für den Ausbauzustand. Simulationszeitpunkt: 13.06.2002 13:00 Uhr	46
Abb. 53.	Wassertemperaturen in der Boden- und der Oberflächenschicht für den Ausbauzustand. Simulationszeitpunkt: 13.06.2002 14:00 Uhr	47
Abb. 54.	Wassertemperaturen in der Boden- und der Oberflächenschicht für den Ausbauzustand. Simulationszeitpunkt: 13.06.2002 15:00 Uhr	47
Abb. 55.	Wassertemperaturen in der Boden- und der Oberflächenschicht für den Ausbauzustand. Simulationszeitpunkt: 13.06.2002 16:00 Uhr	48
Abb. 56.	Wassertemperaturen in der Boden- und der Oberflächenschicht für den Ausbauzustand. Simulationszeitpunkt: 13.06.2002 17:00 Uhr	48
Abb. 57.	Wassertemperaturen in der Boden- und der Oberflächenschicht für den Ausbauzustand. Simulationszeitpunkt: 13.06.2002 18:00 Uhr	49
Abb. 58.	Wassertemperaturen in der Boden- und der Oberflächenschicht für den Ausbauzustand. Simulationszeitpunkt: 13.06.2002 19:00 Uhr	49
Abb. 59.	Wassertemperaturen in der Boden- und der Oberflächenschicht für den Ausbauzustand. Simulationszeitpunkt: 13.06.2002 20:00 Uhr	50
Abb. 60.	Wassertemperaturen in der Boden- und der Oberflächenschicht für den Ausbauzustand. Simulationszeitpunkt: 13.06.2002 21:00 Uhr	50
Abb. 61.	Wassertemperaturen in der Boden- und der Oberflächenschicht für den Ausbauzustand. Simulationszeitpunkt: 13.06.2002 22:00 Uhr	51
Abb. 62.	Mittlere und maximale Wassertemperaturen in der Bodenschicht für Springtideverhältnisse	51
Abb. 63.	Sondermessstellen in der Innenjade	52
Abb. 64.	Sondermessstellen im Jadebusen	53



Abb. 65.	Auswertung der mittleren Wassertemperaturen an der Position Kaje JadeWeserPort	54
Abb. 66.	Auswertung der maximalen Wassertemperaturen an der Position NWO-Brücke (Ufermessstelle)	55

Anlagen:

Anlage A: Sondermessstellen

Anlage B: Ausbreitung der Kühlwasserfahne im Jadebusen für Spring- und Nipptide-
verhältnisse (Kühlwassermenge 130 m³/s)



1 Veranlassung und Aufgabenstellung

Am Kraftwerkstandort Wilhelmshaven (Abb. 1) bestehen derzeit Erweiterungspläne für zwei neue Kraftwerksblöcke auf dem E.ON-Betriebsgelände sowie Neubaupläne für zwei weitere Kraftwerksblöcke der ELECTRABEL-Deutschland AG auf den nördlich angrenzenden Flächen. Die Stadt Wilhelmshaven benötigt für die Bauleitplanung zum Kraftwerkstandort Wilhelmshaven Aussagen, ob die derzeitigen Planungen zum Ausbaupotenzial des Kraftwerkstandortes hinsichtlich der verstärkten Kühlwassereinleitungen verträglich mit dem Gewässersystem der Jade sind.

Zur Nutzung des Ausbaupotenzials wurde in Absprache mit Auftraggeber und Kraftwerksbetreibern angenommen, dass die Erhöhung der Kühlwassermenge von heute 30 m³/s auf zukünftig maximal 130 m³/s notwendig sei und die Temperatur des entnommenen Kühlwassers wie bereits durch das heutige E.ON - Kraftwerk um $\Delta T = 10$ K erhöht werden müsse (Abb. 2).

In diesem Zusammenhang wurde die Bundesanstalt für Wasserbau (BAW-DH) von der Stadt Wilhelmshaven – Fachbereich für Stadtplanung und Stadterneuerung - beauftragt, die zeitliche und räumliche Ausbreitung der Kühlwasserfahne in der Innenjade auf der Grundlage einer wasserbaulichen Systemanalyse im Rahmen einer Machbarkeitsstudie abzuschätzen. Die Untersuchungen zur Erhöhung der Kühlwassermenge können auf vorhandenen Systemstudien aufbauen, die die Bundesanstalt für Wasserbau u.a. im Rahmen des Planfeststellungsverfahrens JadeWeserPort zur Ermittlung der Auswirkungen des JadeWeserPort auf die Kühlwasserausbreitung des bestehenden E.ON-Kraftwerks im Auftrag der JadeWeserPort-Realisierungsgesellschaft durchgeführt hat. Darüber hinaus sind Untersuchungsergebnisse weiterer Systemstudien der BAW in das vorliegende Gutachten eingeflossen.



Abb. 1: Lage des E.ON-Kraftwerks in der Innenjade



Abb. 2. Ausbreitung der Kühlwasserfahne im Ist-Zustand (Foto: E.ON-Kraftwerke GmbH, Wilhelmshaven)



2 Bearbeitungskonzept

Die Erhöhung der Kühlwasserleistung von $30 \text{ m}^3/\text{s}$ auf maximal $130 \text{ m}^3/\text{s}$ hat Auswirkungen auf die räumliche und zeitliche Ausbreitung der Kühlwasserfahne in der Innenjade. Um diese Änderungen im Sinne einer wasserbaulichen Systemanalyse abzuschätzen, werden im Folgenden zuerst der Wärmehaushalt von Jadebusen, Innenjade und Außenjade sowie die anthropogenen und nicht-anthropogenen Einflussfaktoren auf den Wärmehaushalt für heutige Verhältnisse qualitativ beschrieben (Abschnitt 3). Es folgt in Abschnitt 4 eine Kurzbeschreibung des verwendeten mathematischen Modellverfahrens, des Modellgebiets und des Gitternetzes, der Randwertsteuerung sowie der Modellkalibrierung und -validierung. Die Modellergebnisse der 3D-HN-Simulationen für einen zukünftigen Systemzustand nach Bau des JadeWeserPort werden in Abschnitt 5 im Vergleich zur heutigen Situation (ohne JadeWeserPort) mit einer Kühlwasserentnahmemenge von $30 \text{ m}^3/\text{s}$ gegenübergestellt. Es folgt darüber hinaus eine Analyse der mittleren und maximalen Wassertemperaturen an Sondermessstellen. Zu beachten ist, dass dabei unterschiedlich hohe Wärmemengen an verschiedenen Positionen südlich des JadeWeserPorts eingeleitet worden. Dies ermöglicht an den Sondermessstellen die Darstellung der zu erwartenden Temperaturen in Abhängigkeit der eingeleiteten Wärmemenge.

3 Wärmehaushalt von Jadebusen, Innenjade und Außenjade

Der Wärmehaushalt der Jade wird durch anthropogene und nicht-anthropogene Einflüsse bestimmt. Zu den anthropogenen Einflüssen gehören z.B. die Kühlwassereinleitung und -entnahme durch das Kraftwerk, die Einleitung von Sole (Kavernenfeld Etzel) im Bereich der Niedersachsenbrücke sowie zeitlich befristete lokale Einleitungen von Süßwasser aus der Maade oder Einleitungen aus der Papierfabrik Varel. Zu den nicht-anthropogenen Einflüssen auf den Wärmehaushalt der Jade gehören z.B. die Sonneneinstrahlung und ihre Auswirkungen auf die unterschiedliche Erwärmung flacher und tiefer Wasserschichten in Innenjade und Jadebusen bzw. der Wattflächen und die daraus resultierenden Temperaturaustausch- und Strömungsprozesse. Zunächst soll der Einfluss der nicht-anthropogenen Einflüsse auf den Wärmehaushalt der Jade beschrieben werden.

3.1 Nicht-anthropogene Einflüsse auf den Wärmehaushalt der Innenjade

Ursache für den nicht-anthropogen beeinflussten Wärmehaushalt ist im Wesentlichen die Sonneneinstrahlung, die

- die oberflächennahen Wasserschichten
- und die oberflächennahen Bodenschichten von trocken gefallenem Wattflächen



erwärmt. Weitere Beiträge zur Wärmebilanz liefern außerdem die Wärmeabstrahlung der Wasseroberfläche (Gegenstrahlung), die Verdunstung, der Wind, der Wärmeaustausch zwischen Wasser und Luft sowie Wasser und Boden. Zusätzlich treten in den kalten Wintermonaten Wärmeänderungen infolge Gefrieren und Schmelzen auf. Die folgende Erläuterung beschränkt sich auf den Einfluss der Sonneneinstrahlung auf die Erwärmung der Wattgebiete und des Wasserkörpers, weil die Sonneneinstrahlung im Verhältnis zu den anderen an der Wärmebilanz beteiligten nicht anthropogenen Prozessen den maßgeblichen Wärmeeintrag für das Jade-Weser-Ästuar darstellt.

Beispielhafte Messungen der Bodentemperatur (Visscher, 2003) im trocken gefallenen Watt des Jadebusens am 14. Juni 1994 haben Erwärmungen des Bodens in den obersten 30 cm ergeben. An der Wattoberfläche lag die gemessene Bodentemperatur rd. 6 K über der Bodentemperatur in 30 cm Bodentiefe. Bei Überströmung wird Wärme aus dem Boden an den Wasserkörper abgegeben und bei Ebbeströmung in die Innenjade transportiert. Aufgrund der geringen Schichtdicke der Erwärmung in der oberflächennahen Bodenschicht ist die Wärmemenge, die bei Überströmung an den Wasserkörper abgegeben wird, von geringer Bedeutung, insbesondere da die Wassertiefen ein Mehrfaches der erwärmten Bodenschicht betragen und die Wärmekapazität von Sandwatt um 25% kleiner und von Schlickwatt um 10% kleiner als die Wärmekapazität von Wasser ist (Kunz, 1998). Gleiches gilt auch für Wintersituationen, wenn sich die oberflächennahe Bodenschicht schneller abkühlt als das Wasser der Jade.

Infolge Sonneneinstrahlung und Wärmeaustausch mit der Atmosphäre wird der Wasserkörper der Jade je nach meteorologischer Situation oberflächennah erwärmt bzw. abgekühlt.

Der nicht-anthropogen beeinflusste Wärmehaushalt der Jade wird durch zeitliche und räumliche Effekte bestimmt. Zu den zeitlichen Effekten gehören

- jahreszeitliche Temperaturschwankungen
- Tag-Nacht Schwankungen
- tidebeeinflusste Schwankungen der Temperatur

Zu den räumlichen Effekten gehören

- Temperaturlängsgradienten
- Temperaturquergradienten
- Temperaturverteilung in der Vertikalen

Der Temperaturhaushalt der Jade wird dominiert durch den jahreszeitlichen, atmosphärischen Temperaturverlauf. Im Messzeitraum (Visscher, 2003) zwischen August und November 2002 wurden Wassertemperaturen zwischen fast 23°C (zweite Augushälfte) und 6°C (Ende Dezember) gemessen (Messungen 0,3 m unter der Wasseroberfläche). Dieser jahreszeitliche Temperaturverlauf wird von einer Tag-Nacht-Schwankung der Temperaturen überlagert. Daher sind die Tageswassertemperaturen meistens höher als die Nachtwassertemperaturen. Beispielhaft konnten im August 2002 Tag-Nacht-Temperaturdifferenzen zwi-



schen 0,3 K im tiefen Bereich der Innenjade und 2 K im ufernahen Bereich festgestellt werden. Überlagert wird der Tag-Nacht-Rhythmus der Wassertemperaturen durch einen tidebeeinflussten Verlauf, der im wesentlichen auf einen Temperaturlängsgradienten von der Nordsee zum Jadebusen infolge unterschiedlicher Aufwärmung flacher und tiefer Bereiche zurückzuführen ist.

In den warmen Sommermonaten erwärmt sich das Wasser im Jadebusen, auch infolge Wärmeaustauschs mit dem Boden, stärker, woraus ein Anstieg der Temperatur von der Nordsee zum Jadebusen resultiert. Während der Ebbephase strömt das erwärmte Wasser zurück in die Innenjade und vermischt sich dort mit dem kälteren Wasser aus der Nordsee. In den kühleren Monaten kühlt sich das Wasser des Jadebusens schneller ab als das Wasser der Innenjade und der Außenjade, wodurch es zu einem Temperaturanstieg in Richtung Nordsee kommt. Dadurch können in der Innenjade in Richtung Jadebusen sowohl fallende als auch steigende Temperaturen über das Längsprofil gemessen werden. Der Einfluss von kaltem Wasser aus dem Jadebusen konnte im Rahmen der Naturmessungen bis zum Kraftwerksquerschnitt in der Innenjade nachgewiesen werden. Das natürliche Temperaturlängsgefälle zwischen NWO-Brücke und Niedersachsenbrücke kann in der Größenordnung einiger Zehntelgrad liegen.

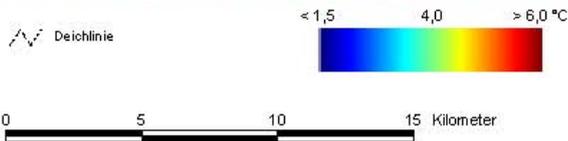
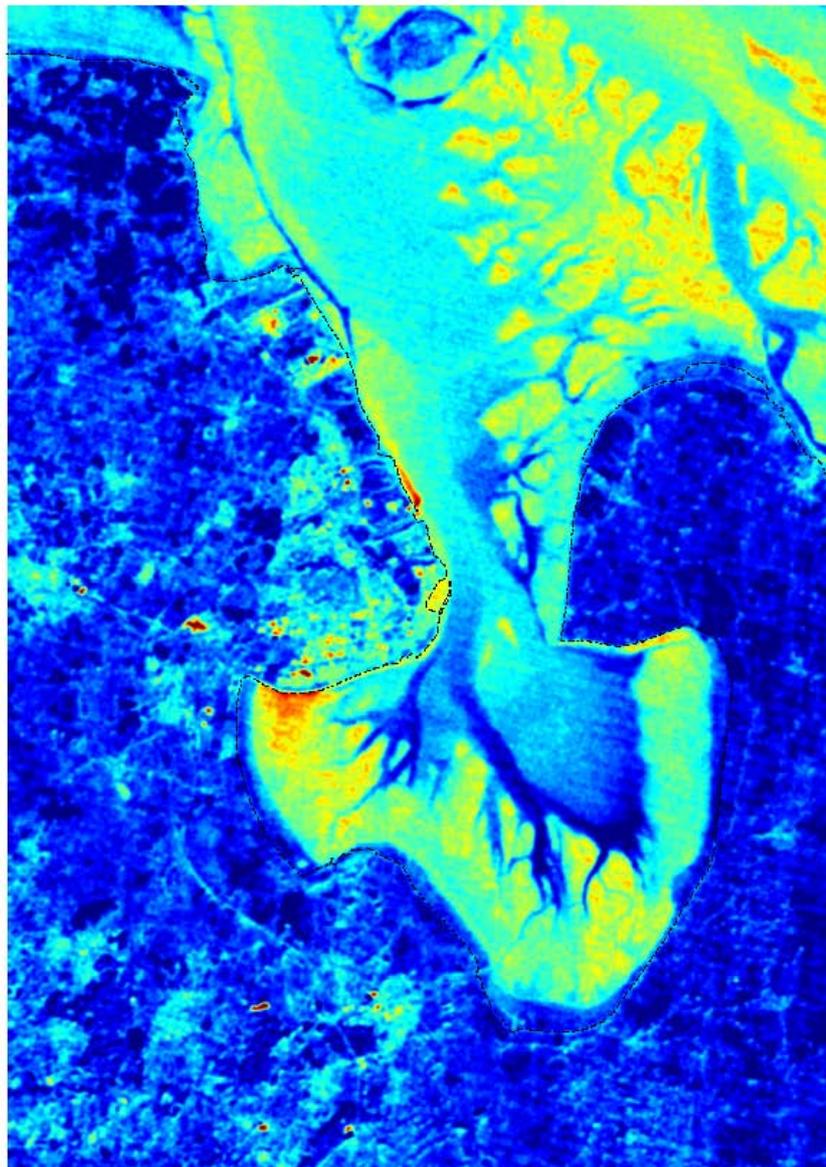
Überlagert wird das Temperaturlängsgefälle in der Innenjade durch einen Temperaturquergradienten. Die flachen ufernahen Bereiche erwärmen sich bei Sonneneinstrahlung stärker als die tiefen Fahrwasserbereiche. Hieraus resultiert ein Anstieg der Oberflächentemperatur vom Fahrwasser zu den beiden Uferbereichen.

Die Temperaturverteilung über die Vertikale hängt hauptsächlich von der Erwärmung der oberflächennahen Schichten durch die Intensität der Sonneneinstrahlung ab. Aufgrund der turbulenten Strömung kommt es zu einer schnellen Durchmischung der Temperatur und damit zu einer nahezu konstanten Temperaturverteilung über die Vertikale.

Die natürliche Aufwärmung der Innenjade und des Jadebusens kann auch beispielhaft Abb. 3 entnommen werden, die anschaulich die Erwärmung von Flachwasser- und Wattgebieten anhand einer Satellitenaufnahme vom 21.2. 2002; 10:16 Uhr (1h 30min vor Tideniedrigwasser) zeigt.

Für die vorliegenden Untersuchungen kann der Einfluss der Sonneneinstrahlung auf die Erwärmung der Wasser- und Bodenschichten unberücksichtigt bleiben, da der Einfluss der Sonneneinstrahlung auf den Wärmehaushalt der Jade unabhängig von der zugeführten Kühlwassermenge ist und lediglich der Differenzbetrag durch Kühlwassereintrag von Bedeutung ist.

Temperaturverteilung Jadebusen am 21. Februar 2002



Landsat 7 ETM+
© ESA; Distributed by Eurimage
Thermaler Kanal
Räumliche Auflösung 30x30m
Projektion Gauß-Krüger, Streifen 3
Ellipsoid Bessel 1841, Datum Potsdam
Aufnahmezeitpunkt 21.02.2002
November 2002
Brockmann Consult

Abb. 3. Satellitentemperaturbild von Jadebusen und Innenjade vom 21.2.2002; 10:16 Uhr (entsprechend 1 h 30 min vor Tideniedrigwasser) (Brockmann Consult, 2002). Es sind deutlich die erwärmten Wattflächen im Jadebusen und auf dem Hohe Weg Watt sowie die Kühlwasserausbreitung bei Ebbeströmung zu erkennen.



3.2 Anthropogene Einflüsse auf den Wärmehaushalt der Innenjade

Zu den anthropogenen Einflüssen auf den Wärmehaushalt der Innenjade gehören derzeit

- die Kühlwassereinleitung und -entnahme durch das Kraftwerk (max. 30 m³/s),
- die Einleitung von Sole (Kavernenfeld Etzel) im Bereich der Niedersachsenbrücke (max. 0,83 m³/s)
- sowie zeitlich befristete Einleitungen von Süßwasser aus der Maade.

Sole- und Süßwassereinleitung müssen bei der Auswertung von Naturmessungen berücksichtigt werden, da sie aufgrund von Dichteeffekten in Abhängigkeit der Wassertemperatur in unterschiedlichen Wassertiefen anzutreffen sind.

Weitere Einleitungen finden in den Jadebusen statt. Hierzu gehören z.B. die Zuflüsse an den Schöpfwerken und Sielen sowie die Einleitung von Brauchwasser durch die Papierfabrik Varel.

Ziel dieses Gutachtens ist es, die Auswirkungen einer Erhöhung der Kühlwassermenge auf die Kühlwasserausbreitung in der Innenjade zu ermitteln. Sole- und Süßwassereinleitungen werden durch die Kühlwassereinleitung nicht beeinflusst und daher im Rahmen dieses Gutachtens nicht weiter betrachtet. Die Wärmemenge, die durch die Kraftwerke eingeleitet wird, wird durch weitere Einleitungen in die Jade ebenfalls nicht beeinflusst. Hinsichtlich der Wassertemperaturen kommt es beim Zusammentreffen unterschiedlich erwärmter Wasserkörper (z.B. Süßwassereinleitung aus der Maade und Kühlwasserfahne) zu keiner höheren Wassertemperatur, sondern die beiden Wasserkörper durchmischen sich nach dem jeweiligen Mengenverhältnissen (Beispiel: Die Wassertemperatur der Innenjade beträgt 15°C. Aus der Maade kommt eine Einleitung mit einer Wassertemperatur von 18°C. Diese Einleitung trifft auf die Kühlwasserfahne mit einer Wassertemperatur von 18°C an derselben Position. Die Mischtemperatur beider Wasserkörper beträgt weiterhin 18°C).

Das Kraftwerk entnimmt derzeit zwischen Maadesiel und Niedersachsenbrücke bis zu 30 m³/s Kühlwasser aus der Innenjade und gibt es um maximal 10 K erwärmt zurück. Eine Erwärmung des Kühlwassers auf über 33 °C bzw. 30 °C (6-Stunden-Mittelwert) ist nicht zulässig. Die Entnahme des Kühlwassers erfolgt über ein Entnahmebauwerk, das ca. 130 m vor dem Deichfuß liegt. Die Sohle des Entnahmebauwerks liegt auf rd. NN-9,0 m. Nordwestlich des Entnahmebauwerks direkt am Deich liegt das Rückgabebauwerk, das aus einem Auslaufrichter und drei Überlaufschwelen besteht. Die befestigte Sohle des äußeren Trichterbereiches fällt von NN-2,50 m auf NN-6,0 m ab.

Die Kühlwasserausbreitung wird im Wesentlichen von der Tidedynamik in der Innenjade bestimmt (Abb. 4). Die Tidedynamik führt zur Ausbreitung der Wärme infolge advektiven Transports und Dispersion. Einen zusätzlichen Beitrag zur Kühlwasserausbreitung leistet die



turbulente Diffusion. Beide Prozesse (Advektion und Dispersion) finden im bewegten Wasser gleichzeitig statt und können nicht voneinander getrennt werden. Die Advektion wird insbesondere anhand der Ausbreitung der Kühlwasserfahne mit der Tide entlang des Ufers deutlich. Bei Flutströmung wandert die Kühlwasserfahne vom Auslassbauwerk nach Süden in Richtung Jadebusen und erreicht bei Flutstromkenterung ihre maximale Ausdehnung südlich der 4. Hafeneinfahrt. Ein Teil der erwärmten Temperaturfahne breitet sich auch vor dem Maadesiel und in der 4. Einfahrt aus. Da die Strömungskenterung in flacheren Bereichen aufgrund der höheren relativen Rauheit früher eintritt als in Bereichen mit größeren Wassertiefen, werden während der Kenterphasen schwache aber großräumige Sekundärströmungen induziert. Bei Flutstromkenterung findet die Wärmeausbreitung am Entnahmequerschnitt im Wesentlichen durch den Kühlwasserrückgabestrom und die damit verbundenen ufernormalen Strömungsgeschwindigkeiten statt. Durch diese Strömungen findet eine wirkungsvolle Querausbreitung der Kühlwasserfahne statt. Dadurch erreicht die Breite der Kühlwasserfahne bei Flutstromkenterung auch am Einleitungsquerschnitt ihr Maximum. Bei einsetzender Ebbeströmung beginnt die Kühlwasserfahne nach Norden zu wandern. Dabei zieht das bei Flutströmung erwärmte Wasser wieder am Auslassbauwerk vorbei und es findet ein zusätzlicher Wärmeeintrag infolge weiterer Kühlwasserzufuhr statt. Die Ausbreitung der Kühlwasserfahne erreicht bei Kenterung der Ebbeströmung das Ufer vor dem Voslapper Groden. Dieser Zustand konnte in etwa am 21.2.2002 durch eine Satellitentemperaturaufnahme festgehalten werden (Abb. 3). Bei Ebbestromkenterung findet wiederum eine Querausbreitung statt, wodurch die Breite der Kühlwasserfahne ein zweites Maximum erreicht. Nach Ebbestromkenterung zieht das bei Ebbeströmung erwärmte Wasser bei Flutströmung teilweise wieder am Auslassbauwerk vorbei und es findet eine weitere Kühlwasserzufuhr statt. Der Temperaturerhöhung infolge Kühlwasserzufuhr wirken die Wärmeabgabe an der Oberfläche (insbesondere durch Verdunstung) sowie die Temperaturousbreitung im Wasserkörper (Abtransport) entgegen, so dass sich das System nicht ständig erwärmt, sondern auch bei ständiger Kühlwasserzufuhr einen Gleichgewichtszustand anstrebt. Dies belegen Temperaturmessungen, die keine nennenswerte Zunahme der Erwärmung bei mehrtägigem Kraftwerksbetrieb zeigen.

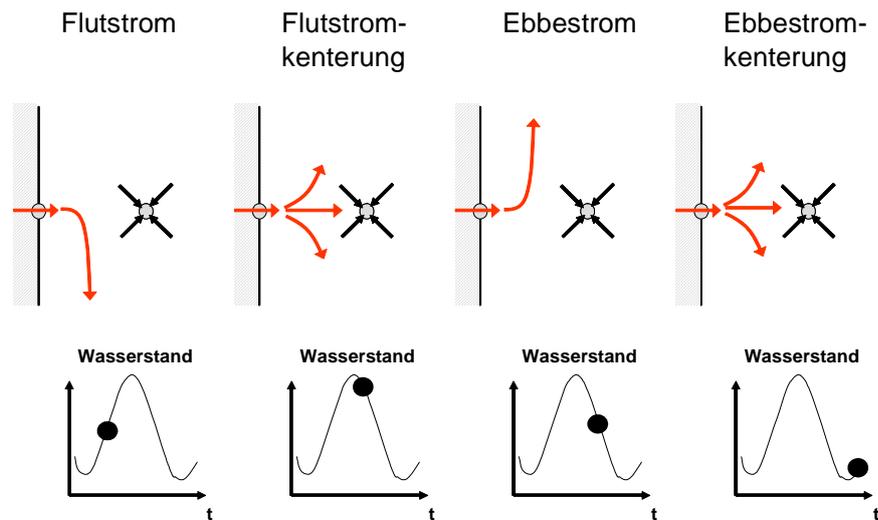


Abb. 4. Schematische Darstellung der Kühlwasserausbreitung in der Innenjade

Neben der Ausbreitung in Längs- und Querrichtung ist auch die Mächtigkeit der Kühlwasserfahne für die Beurteilung der derzeitigen Kühlwassersituation von Bedeutung. Messungen zeigen, dass die Kühlwasserfahne im Nahbereich des Einleitungsbauwerks bis zur Gewässersohle reicht und auch in 100 m Entfernung noch Mächtigkeiten von bis zu 4,0 m aufweist. Querprofilmessungen am 17.10.2002 zeigen 700 m nördlich des Einleitungsquerschnitts Mächtigkeiten der Temperaturschicht von 2,0 m ca. 0,5 h vor Flutstromkenterung (Abb. 5). Die Temperaturfahne erstreckt sich somit nicht nur auf die oberen Zentimeter, sondern erreicht die Größenordnung mehrerer Meter.

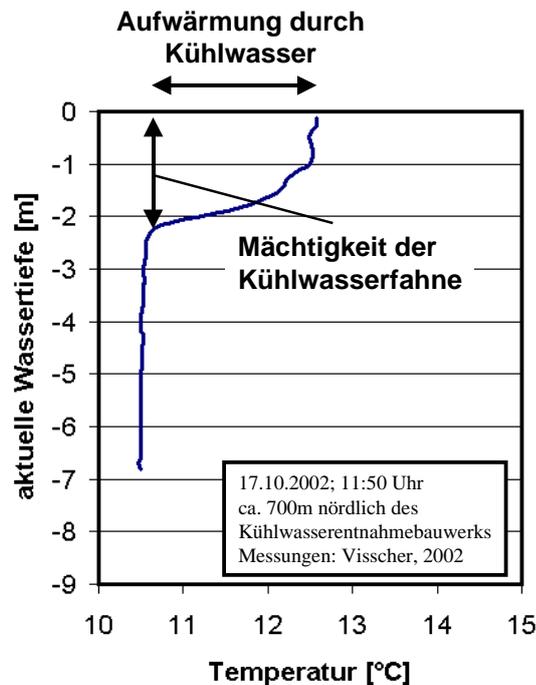


Abb. 5. Mächtigkeit der Kühlwasserfahne am Beispiel einer Messung am 17.10.2002 (Visscher, 2002)



4 Modellbeschreibung

4.1 Mathematisches Modellverfahren

Alle Simulationen zur Kühlwassersituation in der Innenjade wurden mit dem dreidimensionalen - hydrodynamisch-numerischen Modellverfahren UNTRIM-3D durchgeführt. UNTRIM-3D ist ein Finite Volumen-Verfahren für unstrukturierte Gitter zur Simulation stationärer und instationärer Strömungs- und Transportprozesse in Gewässern mit freier Wasseroberfläche. Eine detaillierte Beschreibung des Verfahrens ist auf den Internet-Seiten der BAW-DH zu finden (<http://www.baw.de/vip/abteilungen/wbk/Methoden/hnm/hnm-de.html>).

4.2 Modellgebiet und Gitternetz

Das Modellgebiet des verwendeten HN-Modells wurde so großräumig gewählt, dass die maßgebenden Strömungs- und Transportprozesse in der Innenjade naturnah nachgebildet werden können und von der Randsteuerung unbeeinflusst bleiben. Das Modellgebiet umfasst die folgenden Gebiete (Abb. 6):

- den Jadebusen
- die Innenjade
- die Außenjade
- die Unterweser bis Dreye
- die Außenweser

Das Gebiet wurde für die 3D-Untersuchungen durch ca. 4,4 Mio. Elemente mit einer vertikalen Auflösung von 0,5 m oberhalb NN-3 m, von 1,0 m oberhalb von NN-22 m, von 2,0 m unterhalb von NN-22 m und einer horizontalen Auflösung zwischen ca. 10 m und 2200 m nachgebildet. Fein aufgelöst wurde insbesondere die Innenjade, um die Kühlwasserfahne naturnah nachbilden zu können. Eine hohe vertikale Auflösung wurde gewählt, um insbesondere die vertikale Struktur der Kühlwasserfahne zu erfassen.

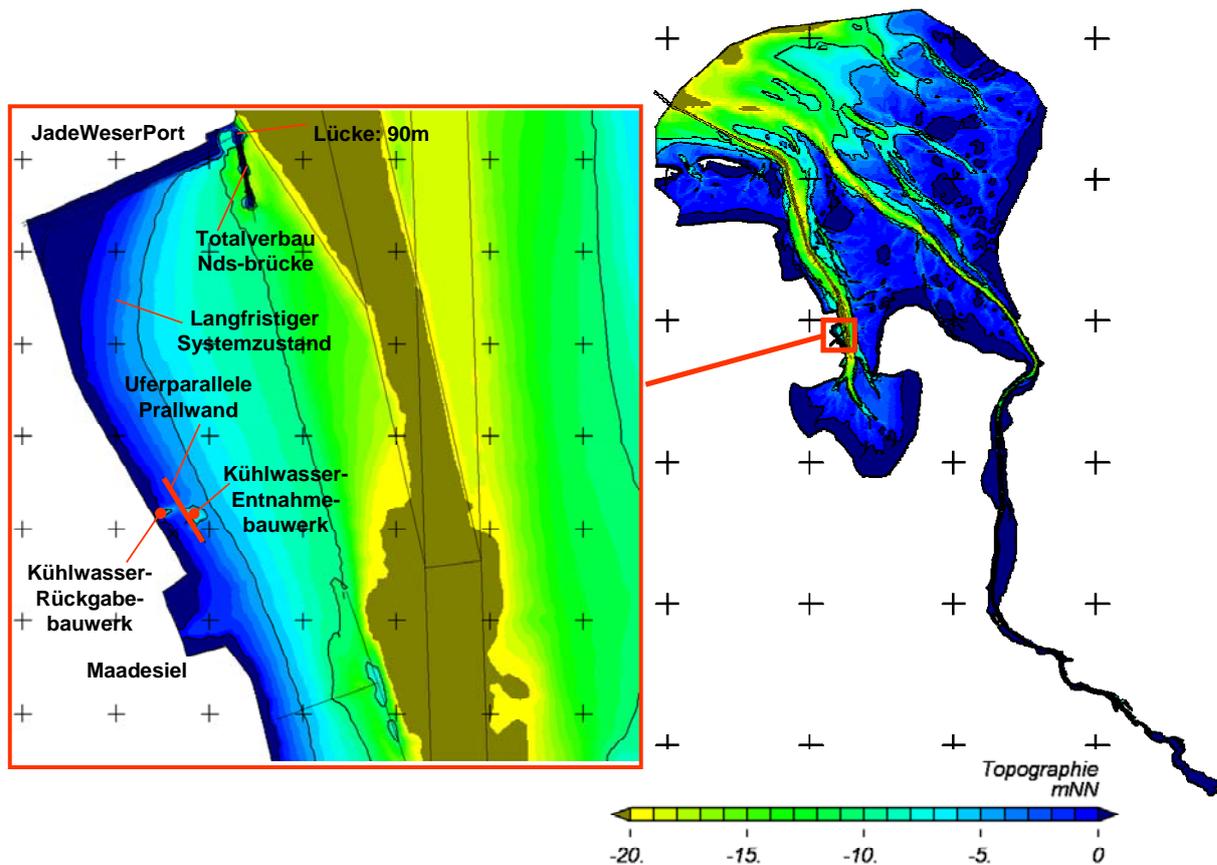


Abb. 6. Modellgebiet des 3D-HN – Modells des Jade-Weser-Ästuars und Detailausschnitt im Bereich des E.ON-Kraftwerks

4.3 Modellsteuerung, Simulations- und Analysezeitraum

Für die Steuerung des Modells wurden Randwerte verwendet, die hinsichtlich der Strömungen und Wasserstände einen charakteristischen Systemzustand der Jade repräsentieren und über den Zeitraum eines Nipp-Spring-Zyklus andauern. Als Simulationszeitraum wurde daher der 31.5.2002 bis 15.6.2002 gewählt. Es wurden:

- Wasserstände am offenen, seeseitigen Modellrand, die während des Simulationszeitraumes auf dem Modellrand gemessen wurden,
- tägliche Mittelwerte des Oberwasserzuflusses für den Simulationszeitraum am Pegel Intschede,
- Kühlwasserzufluss und -entnahme (maximale Entnahmemenge: 130 m³/s; Erwärmung 10 K)

für die Simulation verwendet. Weitere Zuflüsse zur Jade oder Weser wurden nicht berücksichtigt, da sie keinen nennenswerten Beitrag zur Tidedynamik der Innenjade liefern und somit ohne Verlust der Prognosefähigkeit in der Modellierung vernachlässigt werden können. Der Einfluss des Windes auf die Temperaturentbreitung wurde im Rahmen der Untersuchungen zur Kühlwassersituation nicht berücksichtigt, da Wind einen abkühlenden Effekt auf

die Oberflächentemperatur hat und Wind die Ausbreitung der Kühlwasserfahne an der Wasseroberfläche infolge Winddrift beeinflussen kann.

Die Wassertemperatur des Jade-Weser-Ästuars wurde zu Beginn der Simulation konstant mit 15 °C vorgegeben.

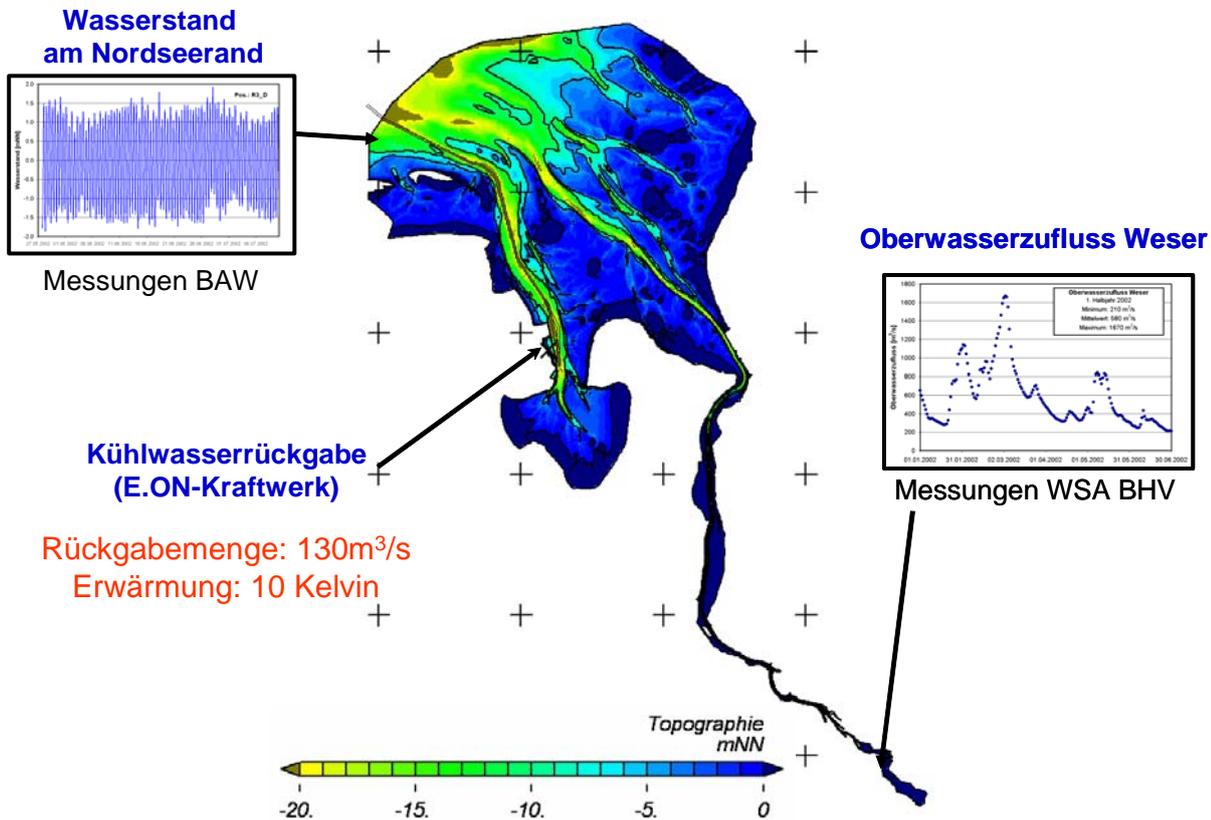


Abb. 7. Übersicht der in der Modellsteuerung berücksichtigten Randwerte

Für die Analyse der Kühlwasserausbreitung wurden sowohl der Nipp- (05.06.2002) als auch der Springtidezeitraum (13.06.2002) ausgewählt. Für diese beiden Zeiträume wurden sowohl synoptische Strömungs- und Temperaturkennwerte als auch Analysewerte ausgewertet und dargestellt (s. Abschnitt 5).

4.4 Hinweise zum HN-Modell

Im Rahmen der vorliegenden Machbarkeitsstudie waren zwei verschiedene Systemzustände zu betrachten:

- **Vergleichszustand** (entspricht dem heutigen Zustand vor Errichtung des JadeWeserPort auf der Grundlage der Modelltopographie entsprechend Abschnitt 5.4.a)
- **Ausbauzustand** (entspricht einem angenommenen langfristigen morphologischen Systemzustand der Jade unter Berücksichtigung des JadeWeserPort, eines Verbaus der Niedersachsenbrücke, einer angenommenen langfristigen Aufsedimentation



und einer Prallwand auf der Grundlage der Modelltopographie entsprechend Abschnitt 5.4.a in den übrigen Bereichen)

Im Rahmen der vorliegenden Untersuchungen wurde nur der Ausbauzustand simuliert. Die Simulationsergebnisse zum Vergleichszustand liegen aus den Untersuchungen zum Planfeststellungsverfahren JadeWeserPort vor und können hier verwendet werden (*Hinweis: In den Gutachten zum JadeWeserPort wird der Vergleichszustand als Referenzzustand bezeichnet.*).

(a) Modelltopographie

Die Modelltopographie (Abb. 6) basiert in der Innenjade und im Jadebusen auf Peilungen (Fächerecholotpeilungen, Linienpeilungen, Befliegungen) der Jahre 2000 und 2001. Die Peildaten für die Bereiche Unterweser und Außenweser stammen aus den Jahren 1998 und 2000. Für die Restbereiche musste z.T. auf ältere Topographiedaten aus einem vorhandenen Digitalen Geländemodell (DGM) der BAW-DH zurückgegriffen werden, die teilweise bis in das Jahr 1992 zurückreichen. Bei den Restbereichen handelt es sich überwiegend um Flächen in der Nordsee, die geringen morphologischen Änderungen unterworfen sind und somit keinen signifikanten Einfluss auf die Zielsetzung und das Ergebnis dieses Gutachtens haben. Die Fahrwasser der Weser und der Jade wurden mit ihren planfestgestellten Ausbautiefen in der Modelltopographie berücksichtigt.

Liegewannen und Sohltopographien der in der westlichen Innenjade liegenden Transport- und Löschrücken wurden bei der Modellierung durch die tatsächlich gepeilten Tiefen berücksichtigt. Da der Verbaugrad der Pfahlbauwerke gering ist und sie somit keinen signifikanten Einfluss auf die Tidedynamik der Innenjade haben, wurden die Pfähle nicht im Modell berücksichtigt.

(b) Kühlwasserentnahme und –rückgabe

Für die Modellierung des Kühlwassers wurden von der Stadt Wilhelmshaven in Absprache mit der E.ON-Kraftwerke GmbH sowie ELECTRABEL-Deutschland die folgenden maximalen Randbedingungen vorgegeben (Abb. 7):

- konstante Entnahmemenge = Rückgabemenge = 130 m³/s
- konstante Erwärmung 10 Kelvin

Aus diesen Werten ergibt sich eine maximale Abwärmemenge von 5443 MJ/s. Die z.Zt. vorhandene Kraftwerksabwärme bei einer Entnahmemenge von 30 m³/s liegt bei 1255 MJ/s.

Die Anfangstemperatur im Modell beträgt 15 °C und der Anfangssalzgehalt 32 ‰ am offenen Nordseerand.



Die Einleitung des Kühlwassers erfolgt im Modell an der Position des vorhandenen Kühlwasserrückgabebauwerks der E.ON-Kraftwerke GmbH. Eine Aufteilung der Rückgabemenge in Abhängigkeit der verschiedenen geplanten Rückgabepositionen und Rückgabemengen erfolgte für den Simulationslauf mit einer maximalen Kühlwasserentnahmemenge nicht. Dies ist bei der späteren Interpretation der Ergebnisse zu berücksichtigen. Die Einleitung erfolgt im Modell nicht über ein Überfallbauwerk, sondern auf 0,0 mNN, wodurch eine Wärmeabgabe an die Atmosphäre durch die turbulente Strömung des Überfalls nicht modelliert wird und der Jade etwas mehr Wärme im Modell als in der Natur zugeführt wird.

Da die Position des zukünftigen Entnahmebauwerks bzw. der zukünftigen Entnahmebauwerke z.Zt. unbekannt ist, wurde die Entnahmeposition in die Außenjade verlegt, um einen Kühlwasserkurzschluss, d.h. das Wiederansaugen des erwärmten Kühlwassers, zu vermeiden. Die Entnahme des Kühlwassers erfolgte daher an einer Position (GKK 3438989/5958514) über fünf vertikal verteilte Gitterzellen östlich der Fahrrinne auf Höhe Minsener Oog. Eine örtliche und mengenmäßige Aufteilung der Kühlwasserentnahmemenge auf die verschiedenen potentiellen Kraftwerksbetreiber ist im Rahmen späterer Detailuntersuchungen zu berücksichtigen.

Für weitergehende Systemstudien sind als „Varianten der Wärmeeinleitung“ unterschiedlich hohe Wärmemengen an verschiedenen Positionen südlich des JadeWeserPorts eingeleitet und entnommen worden. Ebenso sind Systemstudien mit unterschiedlicher Temperatur des Kühlwassers durchgeführt worden (konstante Erwärmung 7 K anstatt 10 K).

Hinweis: Aufgrund der räumlichen Trennung von Kühlwasserentnahme und Kühlwasserrückgabe und der Vermeidung eines Kühlwasserkurzschlusses beträgt die Kühlwasserrückgabetemperatur immer konstant 25 °C.

(c) JadeWeserPort

Form und Lage des JadeWeserPort sowie die Gestaltung der Zufahrt und der verlegten Fahrrinne wurden entsprechend der Untersuchungen der Bundesanstalt für Wasserbau im Rahmen des Planfeststellungsverfahrens JadeWeserPort im Modell berücksichtigt (Abb. 8). Die folgenden Elemente wurden für den untersuchten Systemzustand nachgebildet:

- Kaje mit 1725 m nutzbarer Länge
- Nördliche und südliche Flanken mit Böschungen
- Nördliche Kajenspundwand und Unterwasserspundwand
- Zufahrtbereich mit Sohltiefe von SKN-18 m
- Neues Fahrwasser
- Nördliche und südliche Wattflächen im Anschlussbereich der Flanken an den Voslapper Seedeich

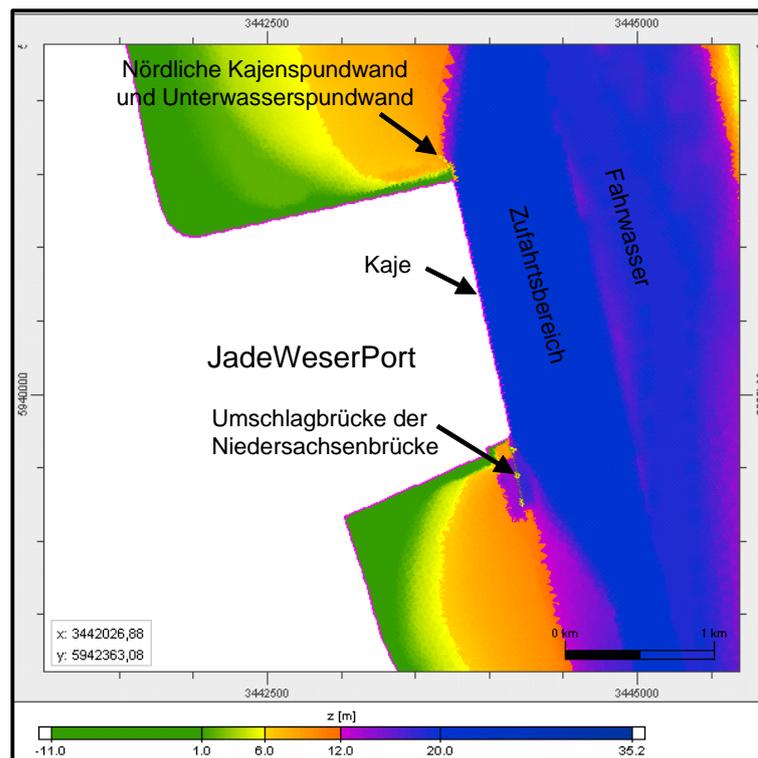


Abb. 8. JadeWeserPort

(d) Niedersachsenbrücke

Aus den Untersuchungen zum JadeWeserPort hat sich die Erfordernis zu einem Ver-
bau der Niedersachsenbrücke ergeben. Da Verbaugrad und –position noch in der
Diskussion sind, wurde hier auf der sicheren Seite liegend mit einem Verbaugrad von
100% der Umschlagbrücke (Totalverbau) gerechnet (Abb. 9). Zwischen Umschlag-
brücke und Südflanke des JadeWeserPort verbleibt eine Lücke von 90 m (BAW,
2005b).

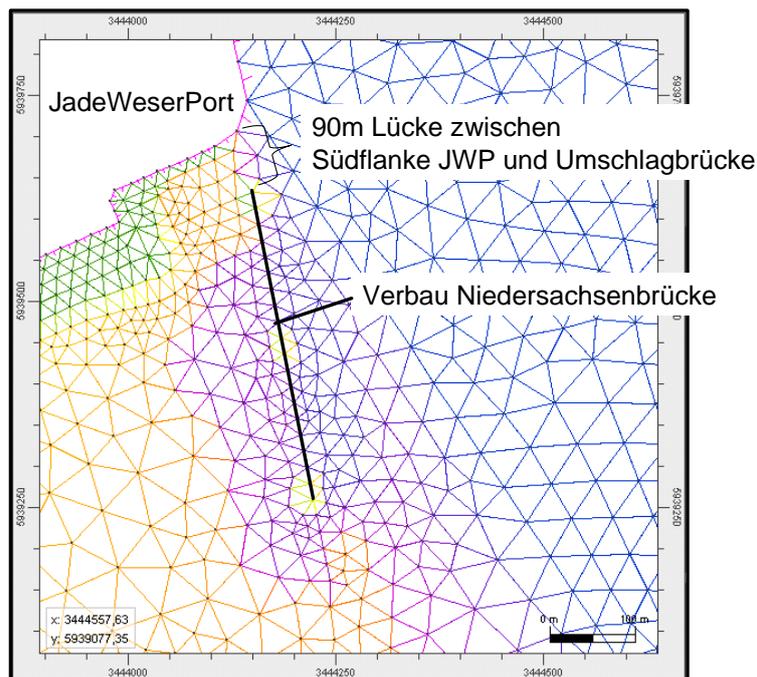


Abb. 9. Verbau der Niedersachsenbrücke

(e) Angenommener Systemzustand der Innenjade nach langfristiger morphologischer Entwicklung

Aufgrund der durch die Errichtung des JadeWeserPort zu erwartenden Aufsedimentation nördlich und südlich der Terminalfläche wurde zwischen der E.ON-Kraftwerke GmbH, der JadeWeserPort-Realisierungsgesellschaft und der Bundesanstalt für Wasserbau ein angenommener Systemzustand der Jade nach langfristiger morphologischer Entwicklung abgestimmt (Abb. 10). Der angenommene langfristige morphologische Systemzustand wurde nach anerkannten Ingenieurmethoden auf Grundlage der Ergebnisse des BAW-Gutachtens „Untersuchungen zum Einfluss des JadeWeserPort auf die Morphodynamik der Jade“ (BAW, 2003b) abgeschätzt. Die NN–2 m und NN–4 m Tiefenlinien des Referenzzustandes wurden dazu seewärts verschoben, so dass sie parallel zur Küstenlinie verlaufen und dann nördlich bzw. südlich des JadeWeserPort in Richtung Fahrwasser verschwenken. Dadurch kommt es großräumig zu einer Verminderung der Wassertiefe von durchschnittlich rd. 2 m (BAW, 2004a).

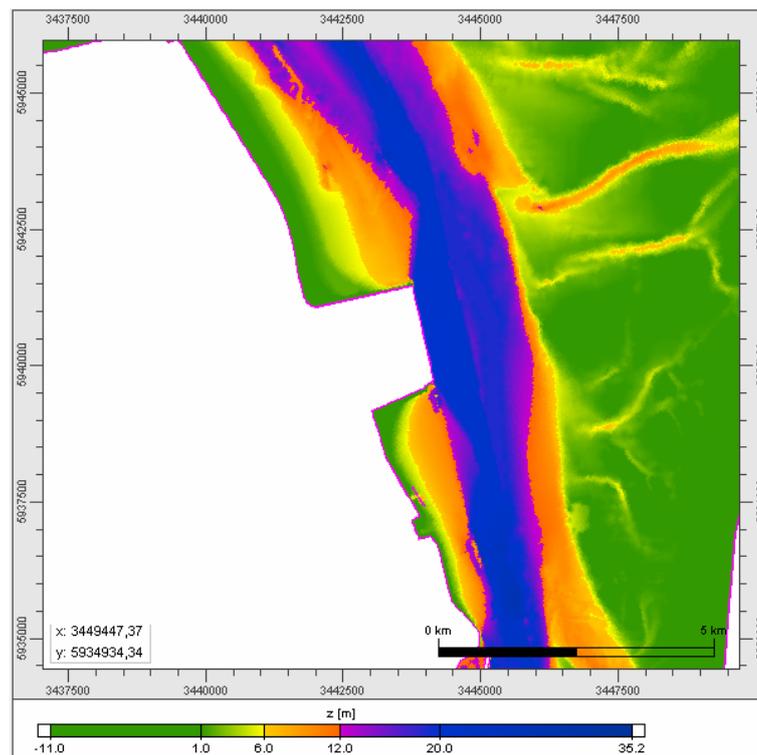


Abb. 10. Angenommener Systemzustand der Innenjade nach langfristiger morphologischer Entwicklung

(f) Prallwand

Ein weiteres Ergebnis der Untersuchungen zum Planfeststellungsverfahren JadeWeserPort war die Entwicklung einer uferparallelen Prallwand zwischen vorhandenem E.ON-Rückgabebauwerk und vorhandenem Entnahgebauwerk zur Reduktion ausbaubedingter Änderungen der Kühlwassersituation unmittelbar nach Bau des JadeWeserPort sowie mittelfristig (ca. 3 bis 5 Jahre). Die Prallwand wurde mit einer Länge von 400 m und einem Abstand von 5 m zum vorhandenen Entnahgebauwerk uferparallel in das Gitternetz eingebaut (Abb. 11). Die Mitte der Prallwand liegt mittig zwischen einer Ufernormalen zum Entnahgebauwerk und einer Ufernormalen zum Rückgabebauwerk. Die Oberkante der Prallwand wurde so hochgelegt (> 5 mNN), dass eine Überströmung zu jeder Tidephase ausgeschlossen werden kann (BAW, 2005a).

Das Gewässerbett zwischen Prallwand und Kühlwasserrückgabebauwerk wird sich aufgrund der hohen Kühlwasserrückgabemenge und der damit verbundenen Strömungsgeschwindigkeiten verändern (z.B. durch Rinnenbildung). Dies hat jedoch großräumig keine Auswirkungen auf die Kühlwasserausbreitung, so dass eine Anpassung der Modelltopographie hier nicht durchgeführt wurde.

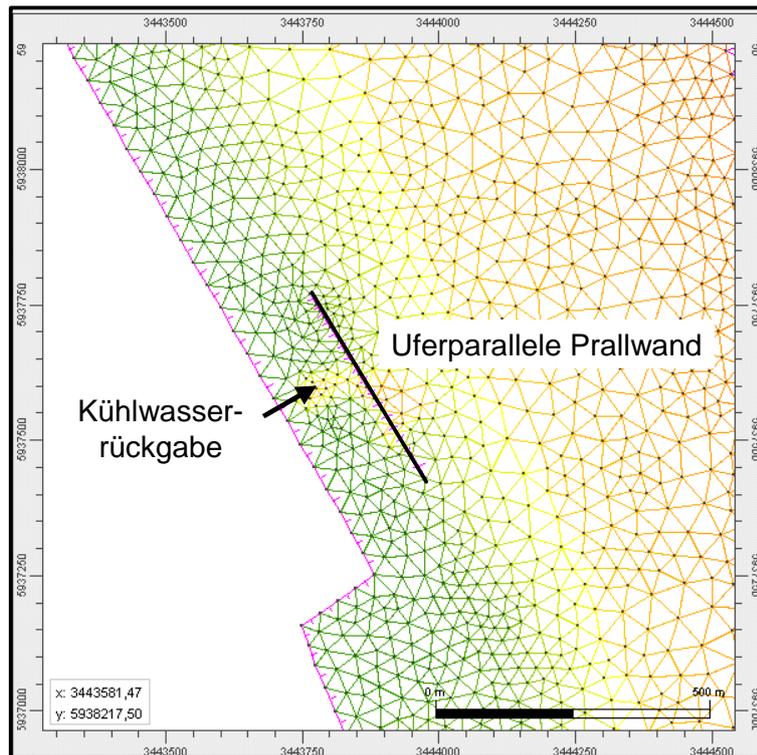


Abb. 11. Kühlwasserrückgabeposition und uferparallele Prallwand

4.5 Modellkalibrierung und -verifikation

(a) Wasserstände und Strömungsgeschwindigkeiten

Das verwendete HN-Modell wurde für den Referenzzustand - d.h. für den Systemzustand ohne JadeWeserPort, ohne Verbau der Niedersachsenbrücke, ohne angenommene langfristige morphologische Aufsedimentation und ohne Prallwand - für Wasserstände und Strömungsgeschwindigkeiten kalibriert und validiert sowie hinsichtlich der Kühlwasserausbreitung auf seine Naturähnlichkeit überprüft. Die Modellkalibrierung und -validierung für die Tidedynamik wurden umfassend im BAW-Gutachten „JadeWeserPort – Untersuchungen zur hydraulischen Wirkungsweise des JadeWeserPort auf die Tidedynamik“ (BAW, 2003a) für das Planfeststellungsverfahren JadeWeserPort dargestellt. Die Abb. 12 und Abb. 13 zeigen beispielhaft eine Gegenüberstellung gemessener und berechneter Wasserstandszeitreihen in der Innenjade unter Verwendung der aktuellen Untrim-Version sowie der Modelltopographie für den angenommenen langfristigen morphologischen Systemzustand für Springtideverhältnisse. Dieser Vergleich ist aufgrund der abweichenden Systemtopographien streng genommen nicht zulässig. Aufgrund der nicht signifikanten ausbaubedingten Änderungen der Wasserstände nach Bau des JadeWeserPort für die beiden Pegelpositionen zeigt der Vergleich dennoch die Qualität des verwendeten Modells. Die Abweichungen zwischen gemessenem und berechnetem Wasserstand betragen für den Pegel Schillig im Mittel 2,8 cm und maximal 9,9 cm sowie für den Pegel Wilhelmshaven / Neuer Vorhafen im Mittel 5,0 cm und maximal 19,4 cm. Auf einen Vergleich gemessener und berechneter Strömungs-

geschwindigkeiten muss an dieser Stelle verzichtet werden, da die Dauermesspositionen WSA 2 und 3 des WSA Wilhelmshaven signifikant durch den Bau des JadeWeserPort beeinflusst werden.

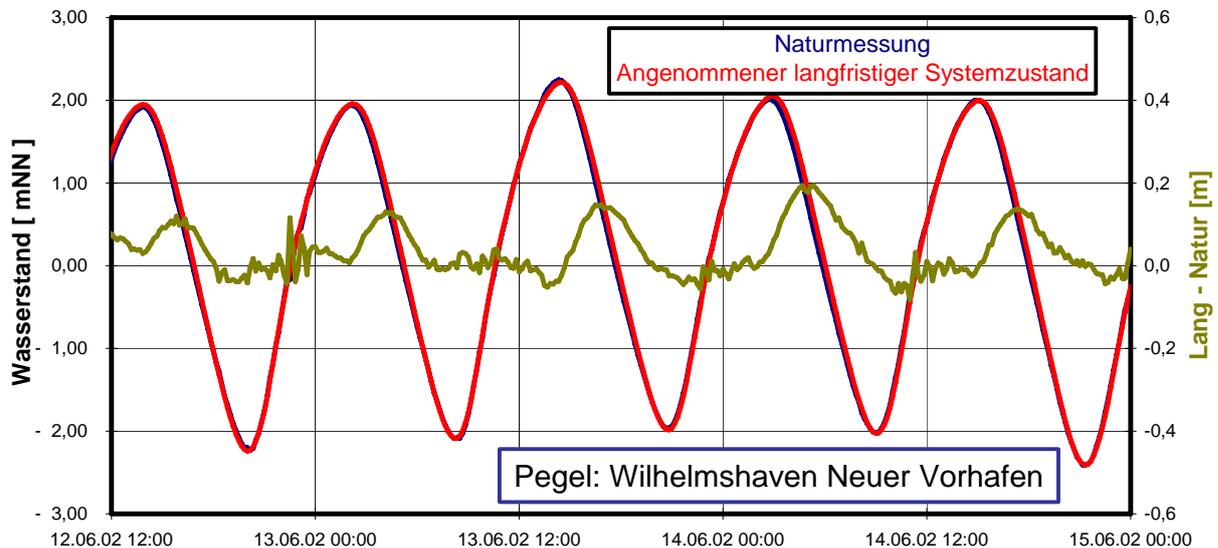


Abb. 12. Gegenüberstellung von gemessenen und für den Ausbauzustand berechneten Wasserstandszeitreihen am Pegel Wilhelmshaven (Neuer Vorhafen)

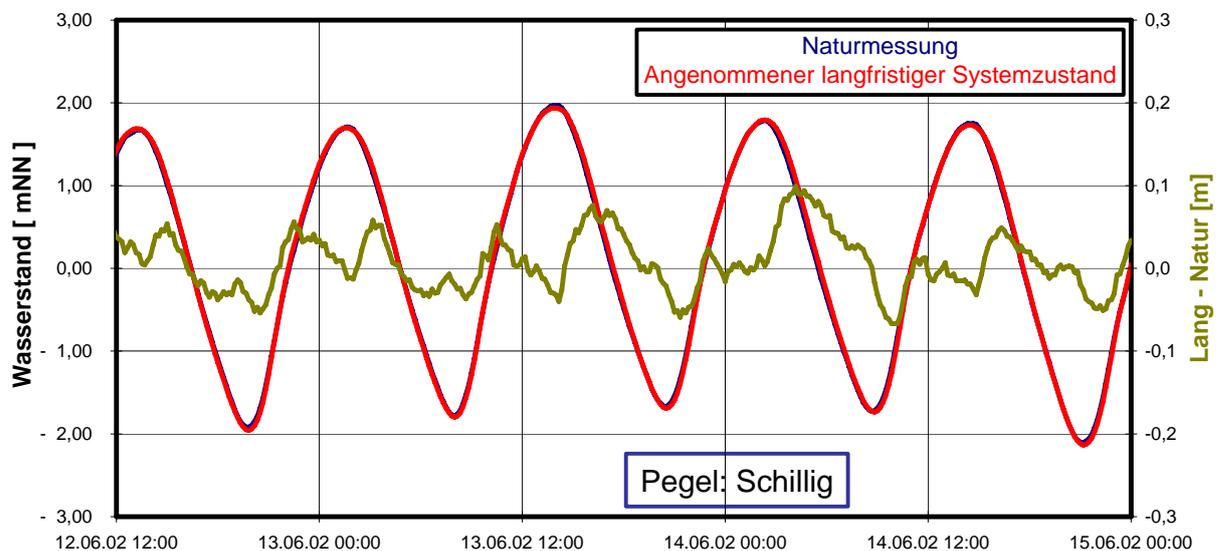


Abb. 13. Gegenüberstellung von gemessenen und für den Ausbauzustand berechneten Wasserstandszeitreihen am Pegel Schillig

(b) Kühlwasserausbreitung

Die Kühlwasserausbreitung und der Wärmehaushalt des Jade-Weser-Ästuars werden von zahlreichen Prozessen beeinflusst, die lokal variabel und zeitlich instationär sind (KUNZ, 1998) und zur Wärmebilanz beitragen:

- Sonnenstrahlung
- Verdunstung oder Kondensation



- Konvektion
- punktuelle Zu- und Abflüsse (z.B. Soleeinleitung oder Sielzugwasser)
- verteilte Zu- und Abflüsse (z.B. Niederschlag)
- Wärmeaustausch mit der Gewässersohle
- mechanische Arbeit (z.B. Schiffsmotoren)
- chemische Reaktionen und biologische Prozesse

Eine gleichzeitige Messung dieser Prozesse in der Natur in einer hohen Auflösung ist nicht möglich und in Anbetracht der Zielsetzung dieses Gutachtens auch nicht erforderlich. Die verschiedenen Prozesse überlagern die Kühlwasserausbreitung und ihr Beitrag zur Gesamtwärmebilanz des Jade-Weser-Ästuars ist im heutigen Zustand sowie im Zustand nach Erweiterung des E.ON-Kraftwerks und Bau des JadeWeserPort gleich, da auch die aufgespülte Hafensfläche klein im Verhältnis zur Wasseroberfläche des Jade-Weser-Ästuars ist. Daher wurden die Simulationen für die Erstellung des vorliegenden Gutachtens unter Vernachlässigung der oben beschriebenen Prozesse durchgeführt, um eine auf der sicheren Seite liegende Abschätzung der ausbaubedingten Änderungen der Kühlwasserausbreitung zu ermitteln. Die einzige Wärmequelle ist somit die Kühlwassereinleitung und ein Temperatureaustausch mit der Atmosphäre findet nicht statt. Aufgrund des im Verhältnis zur Kühlwassermenge großen Wasservolumens des Jade-Weser-Ästuars kommt es zu keiner signifikanten Zunahme der mittleren Wassertemperatur im Gesamtsystem während des Analysezeitraums.

Die Naturähnlichkeit des verwendeten Modells wurde für den Referenzzustand (ohne JadeWeserPort und Folgebauwerke) auf der Grundlage verfügbarer Naturmessungen (Visscher, 2002) zur Kühlwasserausbreitung während einer Messphase von August bis November 2002 untersucht (s. BAW, 2003c und BAW 2004b). Der Nachweis der Naturähnlichkeit der Kühlwasserausbreitung erfolgte unter Verwendung von Ergebnissen:

- zur räumlichen Ausbreitung der Kühlwasserfahne in der Innenjade
- zur Breite der Kühlwasserfahne
- zur Entnahmetemperatur

Im Folgenden werden einige ausgewählte Ergebnisse zur Überprüfung der Naturähnlichkeit der Kühlwasserausbreitung dargestellt. Die vollständige Überprüfung der Naturähnlichkeit kann den BAW-Gutachten zum JadeWeserPort entnommen werden (BAW, 2003c und BAW 2004b).

i. Nachweis der Naturähnlichkeit der Ausbreitung der Kühlwasserfahne in der Innenjade

Der Nachweis der Naturähnlichkeit der Ausbreitung der Kühlwasserfahne nach Süden in Richtung Jadebusen und nach Norden in Richtung Hooksiel wurde auf der Grundlage von Temperaturmessungen an der Niedersachsenbrücke (Visscher, 2002) und an der NWO-Brücke durchgeführt. Die Erwärmung durch das Kühlwasser wurde an den Ufermessstellen der NWO- und der Niedersachsenbrücke zu 1 K bis 2 K ge-

messen. Dies entspricht von der Größenordnung her den Simulationsergebnissen der HN-Rechnungen (s. Abb. 14).

ii. Nachweis der Naturähnlichkeit der Breite der Kühlwasserfahne

Die Breite der Kühlwasserfahne wurde von Visscher (2002) am Einleitungsquerschnitt in Bezug zur Rückgabeposition gemessen. Als Schwellwert für die Definition der Breite der Kühlwasserfahne wurde eine Temperaturerhöhung von $\Delta T = 0,5 \text{ K}$ gegenüber der von der Kühlwassereinleitung unbeeinflussten Wassertemperatur angesetzt. Die Kühlwasserbreite schwankt zwischen 100 m während der Flut- und Ebbestromzeiten und 500 m bis 600 m zum Zeitpunkt der Flut- und Ebbestromkenterung. Diese Werte ergaben sich auch aus den Simulationen. In Abb. 14 ist für den analysierten Nipptidezeitraum die maximale Temperatur für den Bereich zwischen NWO-Brücke und Niedersachsenbrücke dargestellt. Die Breite der Kühlwasserfahne beträgt rd. 500 m.

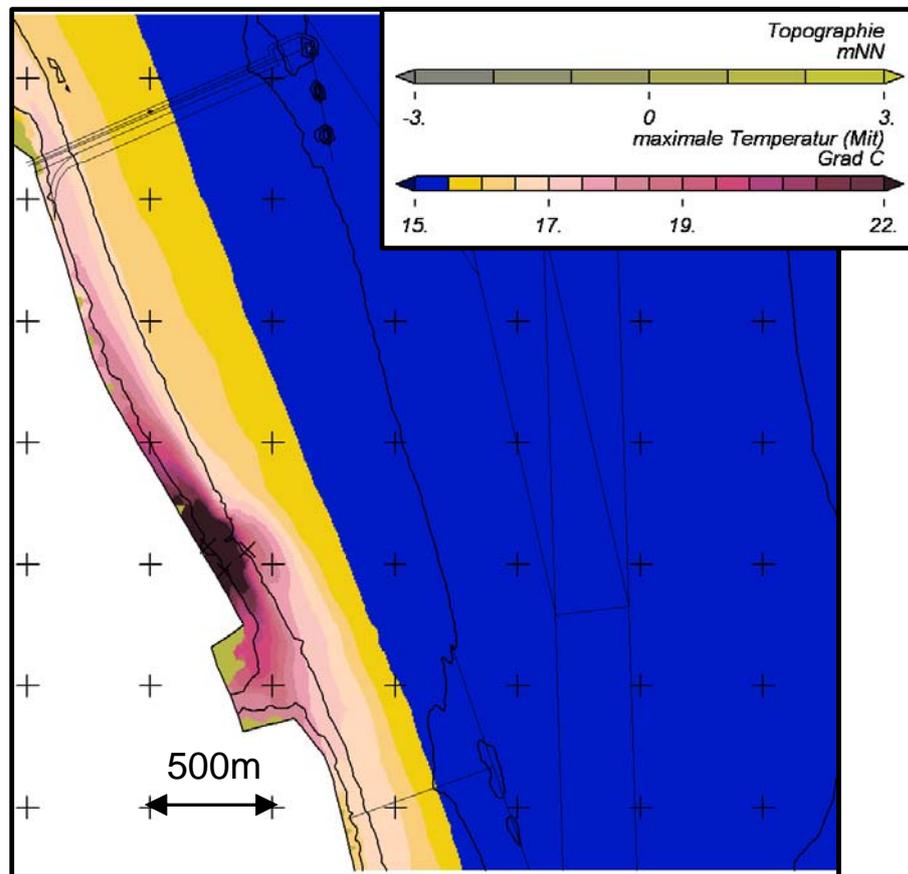


Abb. 14. Maximale Ausbreitung der Kühlwasserfahne im Referenzzustand

iii. Nachweis der Naturähnlichkeit der Kühlwasserentnahmetemperatur

Abb. 15 zeigt den vorhandenen Kühlwasserkurzschluss aus Temperaturmessungen am Entnahmebauwerk. Der Kühlwasserkurzschluss wurde durch Differenzbildung der gemessenen Wassertemperatur am Entnahmebauwerk und der von der Kühlwasserrückgabe unbeeinflussten Wassertemperatur an der Niedersachsenbrücke ermittelt.

Die Erwärmung des Wassers der Innenjade durch das Kühlwasser beträgt am Entnahmebauwerk zwischen 1 K und 3 K (Abb. 15). Die Rechnungen für den Referenzzustand haben Erwärmungen zwischen 2 K und 2,5 K für den Nipptidezeitraum ergeben (Abb. 16). Aus diesen Ergebnissen kann auf eine gute Naturähnlichkeit des verwendeten Modells hinsichtlich der vertikalen Auflösung der Kühlwasserfahne im Nahbereich des Kühlwasserrückgabebauwerks geschlossen werden.

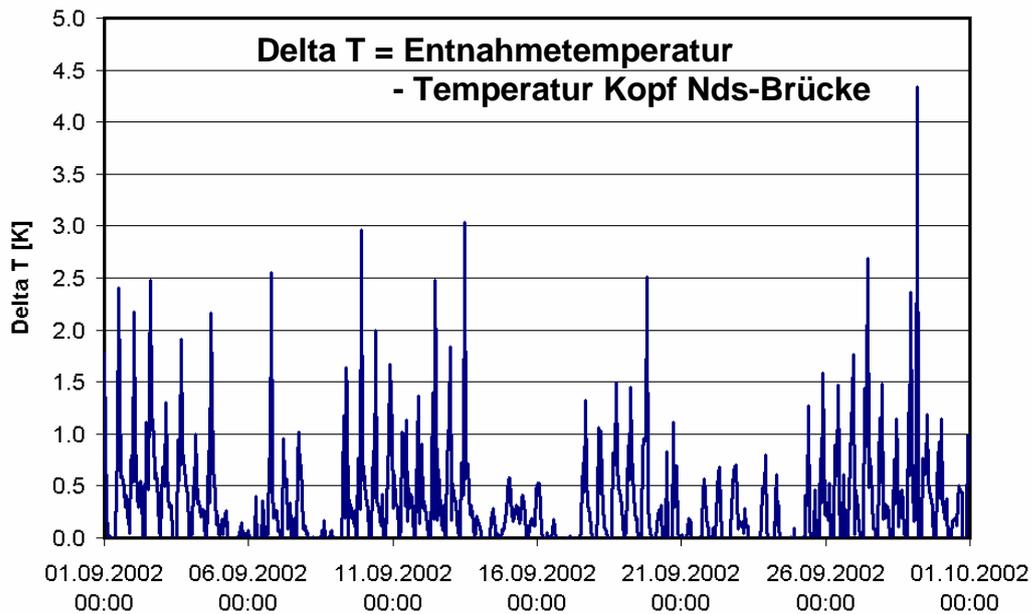


Abb. 15. Kühlwasserentnahmetemperaturen durch Kühlwasserkurzschluss am vorhandenen Kühlwasserentnahmebauwerk

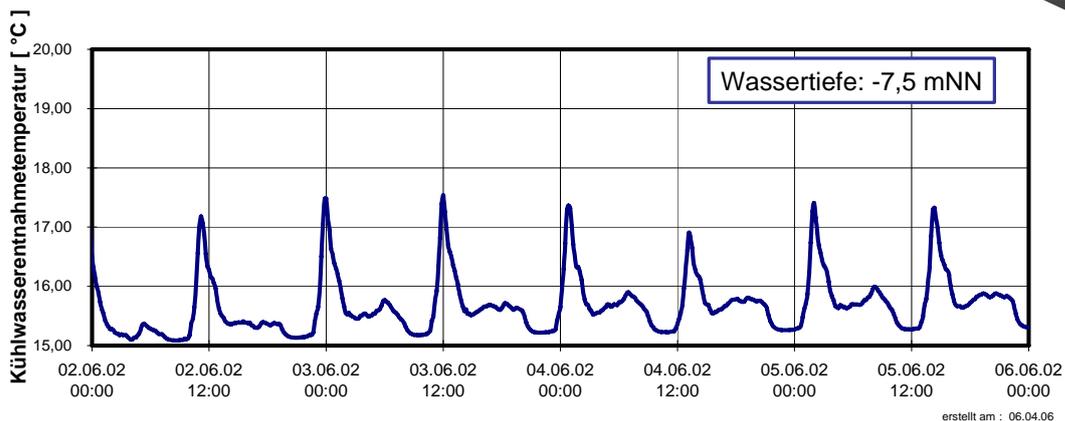


Abb. 16. Berechnete Kühlwasserentnahmetemperaturen in einer Wassertiefe von NN-7,5m

Unterschiede zwischen Modellergebnissen und Naturmessung sind im Wesentlichen auf die Vernachlässigung von lokalen Windeffekten, die Schwierigkeiten bei der Definition der Kühl-



wasserfahnenbreite aus Naturmessungen, die zum Messzeitpunkt vorhandene Kraftwerksleistung und unterschiedliche Analysezeiträume zurückzuführen.

5 Modellergebnisse

Nachfolgend werden die Ergebnisse der 3D-HN-Rechnungen dargestellt. Dazu wird wie folgt vorgegangen, um die Auswirkungen einer Erhöhung der Kühlwassermenge auf die Kühlwasserausbreitung im Jade-Weser-Ästuar zu beschreiben:

- Darstellung der Kühlwasserausbreitung auf der Grundlage synoptischer Datensätze
- Darstellung der Kühlwasserausbreitung auf der Grundlage von Analysedaten
- Vergleich der Kühlwasserausbreitung für die maximale Kühlwasserentnahmemenge von 130 m³/s zur Kühlwasserausbreitung für eine Kühlwasserentnahmemenge von 30 m³/s
- Wassertemperaturen in der Boden- und der Oberflächenschicht
- Darstellung der mittleren und maximalen Wassertemperaturen für verschiedene Kühlwassermengen an Sondermessstellen

5.1 Darstellung der Kühlwasserausbreitung auf der Grundlage synoptischer Datensätze

In den Abb. 17 bis Abb. 31 sind die tiefengemittelten Strömungsgeschwindigkeiten und die tiefengemittelten Wassertemperaturen im Gebiet zwischen NWO-Brücke und Niedersachsenbrücke für die Springtide vom 13.06.2002 dargestellt. Diese Abbildungen zeigen die zeitliche und räumliche Ausbreitung der Kühlwasserfahne in diesem Bereich.

Bei Flutströmung wandert die Kühlwasserfahne parallel zur Uferlinie in den Jadebusen (Abb. 17 und Abb. 18). Bereits rd. 2 Stunden nach T_{nw} hat sich eine großräumige Strömungswalze gebildet, die das Kühlwasser nach Norden in den Bereich zwischen den E.ON-Kühlwasserbauwerken und dem JadeWeserPort transportiert (Abb. 19 bis Abb. 23). Diese Strömungswalze bleibt bis Tidehochwasser erhalten. Ihre maximale Ausdehnung nach Süden erreicht die Kühlwasserfahne kurz nach Tidehochwasser und erreicht das Bordumer Watt sowie das Sander Watt im Jadebusen (Abb. 32). Eine Darstellung der zeitlichen Ausbreitung der Kühlwasserfahne für Spring- und Nipptideverhältnisse im Jadebusen wurde in Anlage B zusammengestellt.

Bei Ebbe strömung wird das erwärmte Wasser der Innenjade nach Norden in Richtung JadeWeserPort transportiert und an der Südflanke in Richtung Jade-Fahrwasser umgelenkt



(Abb. 24 bis Abb. 29). Es findet eine nördliche und südliche Umströmung der verbauten Niedersachsenbrücke bei Ebbeströmung statt. Anschließend wird das erwärmte Wasser entlang der Kaje des JadeWeserPort in Richtung Nordsee transportiert. Auf diesem Weg vermischt sich das erwärmte Wasser mit dem kälteren Wasser der Innenjade. Die maximale Ausdehnung der Kühlwasserfahne nach Norden konnte um Tidemittelwasser festgestellt werden (Abb. 32).

Bei anschließender Flutströmung gelangt das bei Ebbeströmung erwärmte Wasser im Bereich zwischen E.ON-Kraftwerk und JadeWeserPort wieder in die großräumige Strömungswalze, die bei Flutströmung in diesem Bereich entsteht. Es entsteht ein erwärmter Bereich mit Wassertemperaturen zwischen 15 °C und 25 °C zwischen NWO-Brücke im Süden, Südflanke des JadeWeserPort im Norden, einer gedachten Verbindungslinie zwischen den Umschlagbrücken der Niedersachsenbrücke und der NWO-Brücke im Osten sowie der Uferlinie im Westen.

Hinweis: Die Farblegende zur Darstellung der Wassertemperaturen wurde so gewählt, dass die Ausbreitung der Kühlwasserfahne selber optimal dargestellt werden kann. Temperaturen zwischen 22 °C und 25 °C werden daher im gleichen Farbton dargestellt.

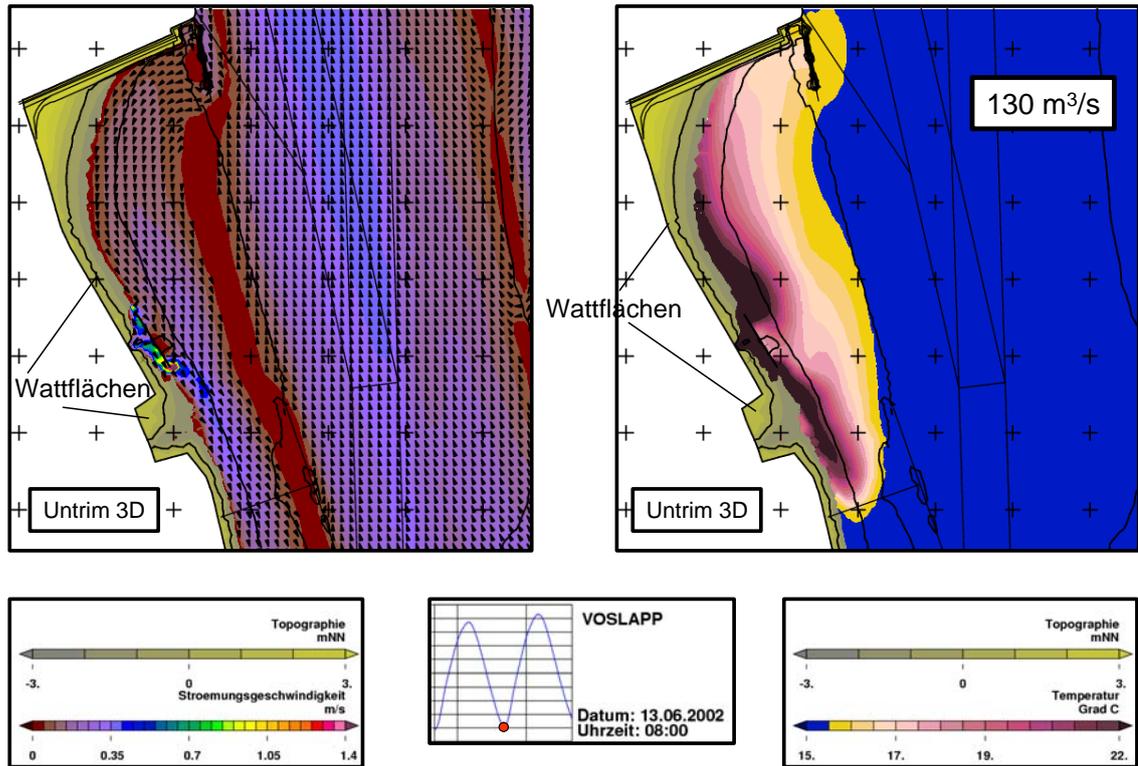


Abb. 17. Tiefengemittelte Strömungsgeschwindigkeiten und Wassertemperatur für den Ausbauzustand. Simulationszeitpunkt: 13.06.2002 08:00 Uhr

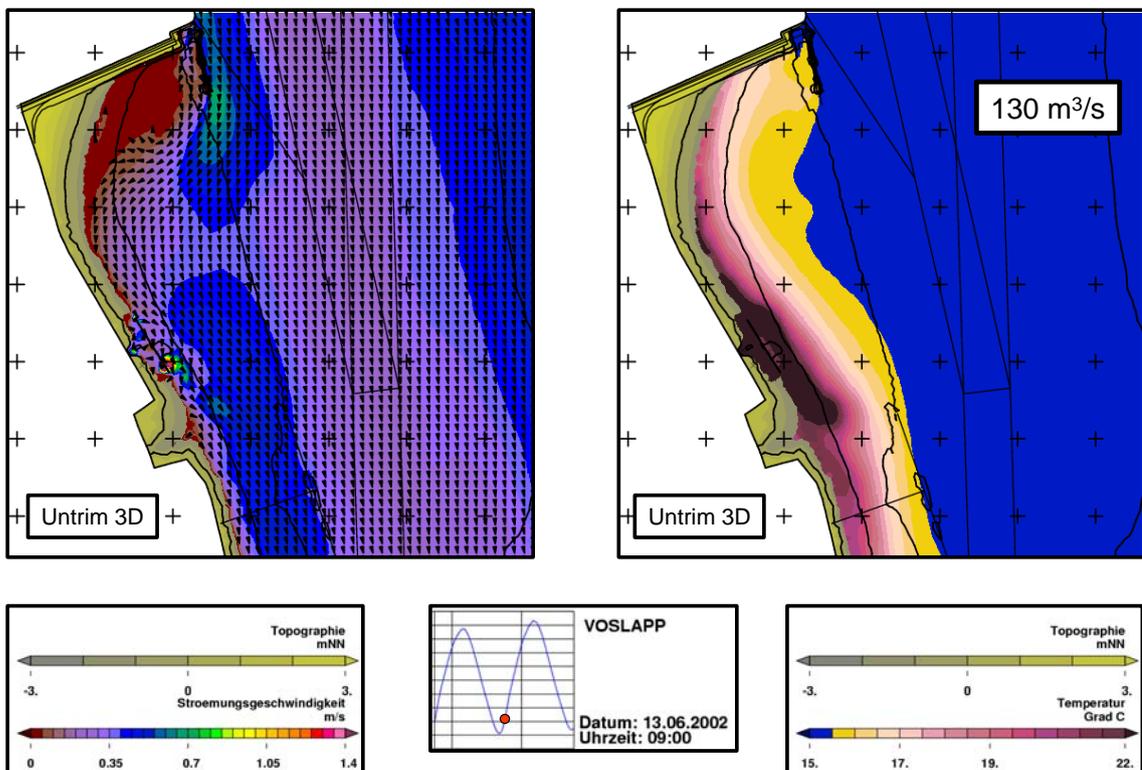


Abb. 18. Tiefengemittelte Strömungsgeschwindigkeiten und Wassertemperatur für den Ausbauzustand. Simulationszeitpunkt: 13.06.2002 09:00 Uhr

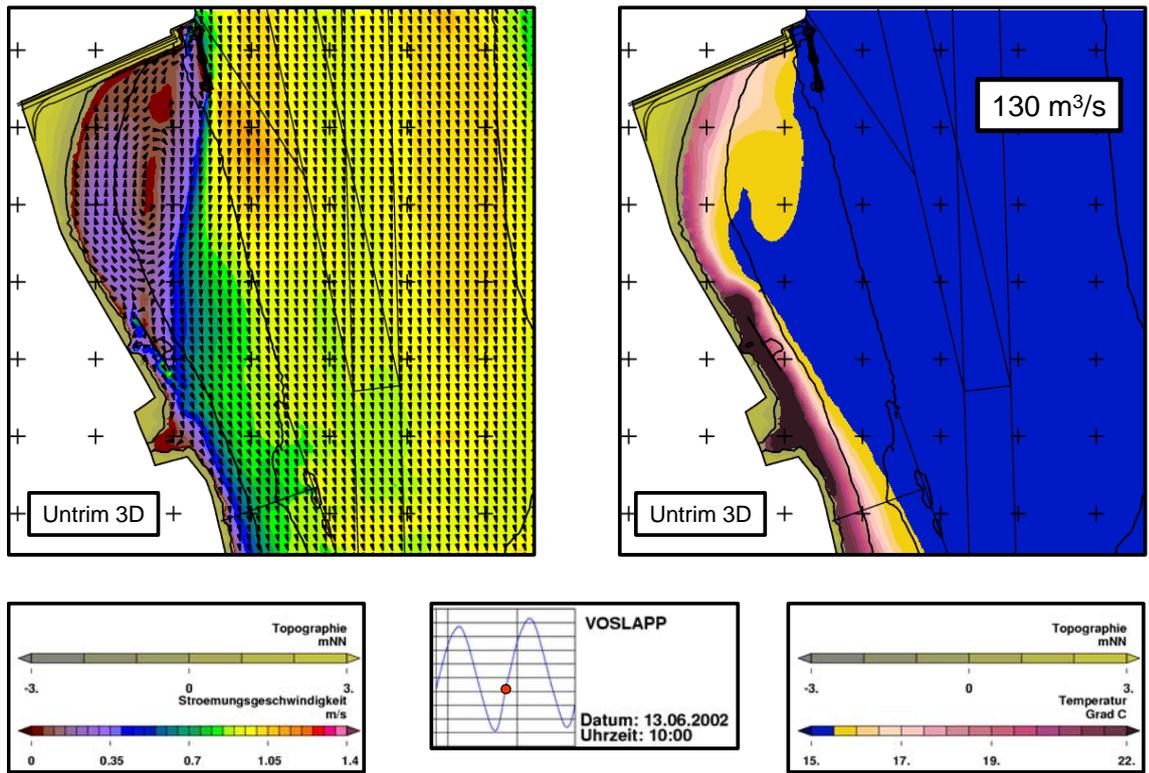


Abb. 19. Tiefengemittelte Strömungsgeschwindigkeiten und Wassertemperatur für den Ausbauzustand. Simulationszeitpunkt: 13.06.2002 10:00 Uhr

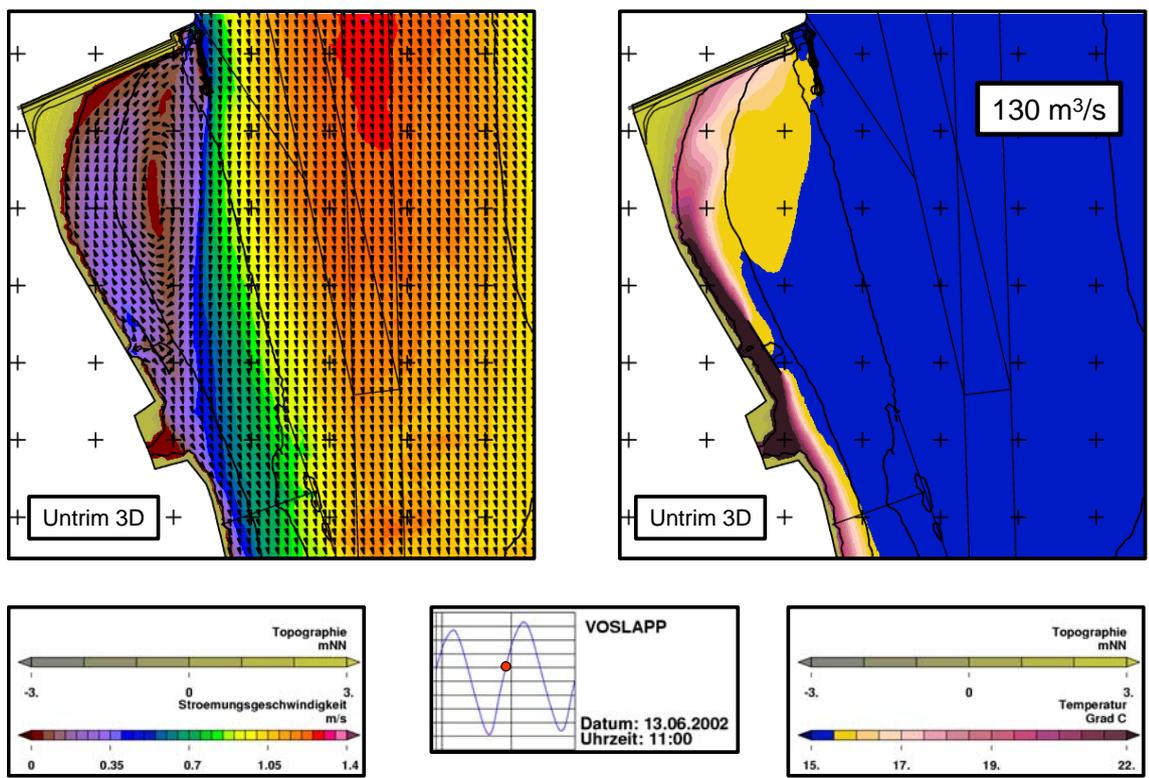


Abb. 20. Tiefengemittelte Strömungsgeschwindigkeiten und Wassertemperatur für den Ausbauzustand. Simulationszeitpunkt: 13.06.2002 11:00 Uhr

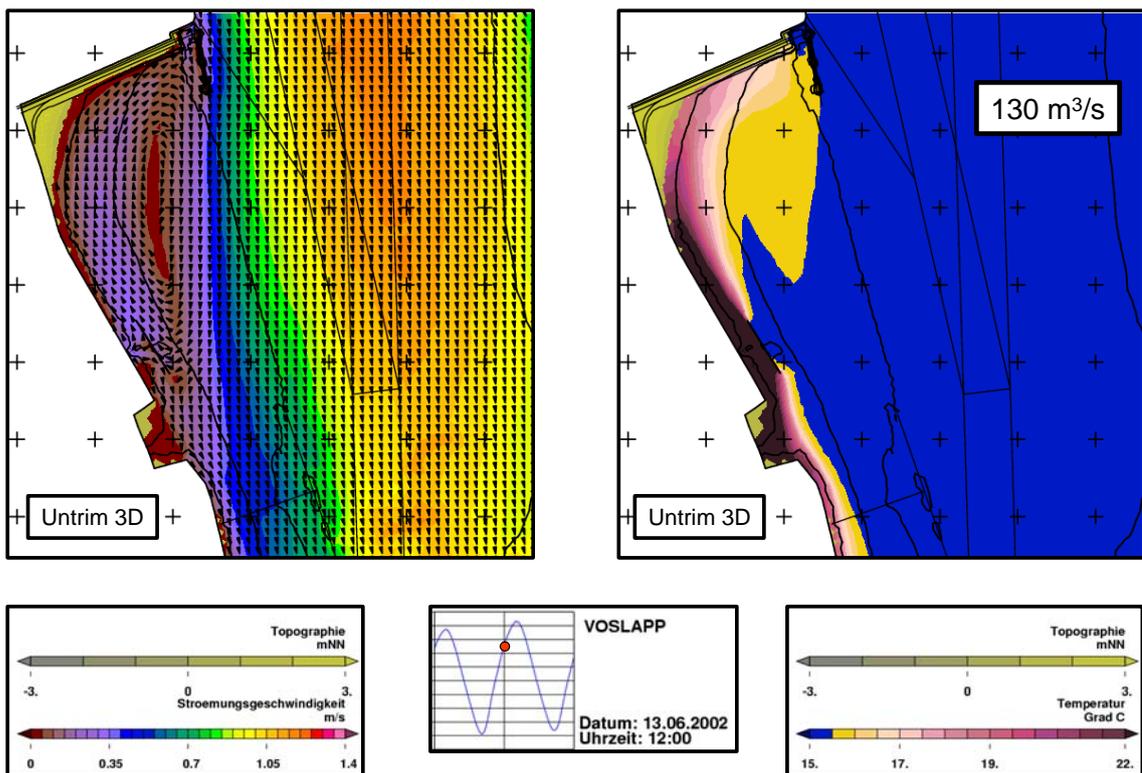


Abb. 21. Tiefengemittelte Strömungsgeschwindigkeiten und Wassertemperatur für den Ausbauzustand. Simulationszeitpunkt: 13.06.2002 12:00 Uhr

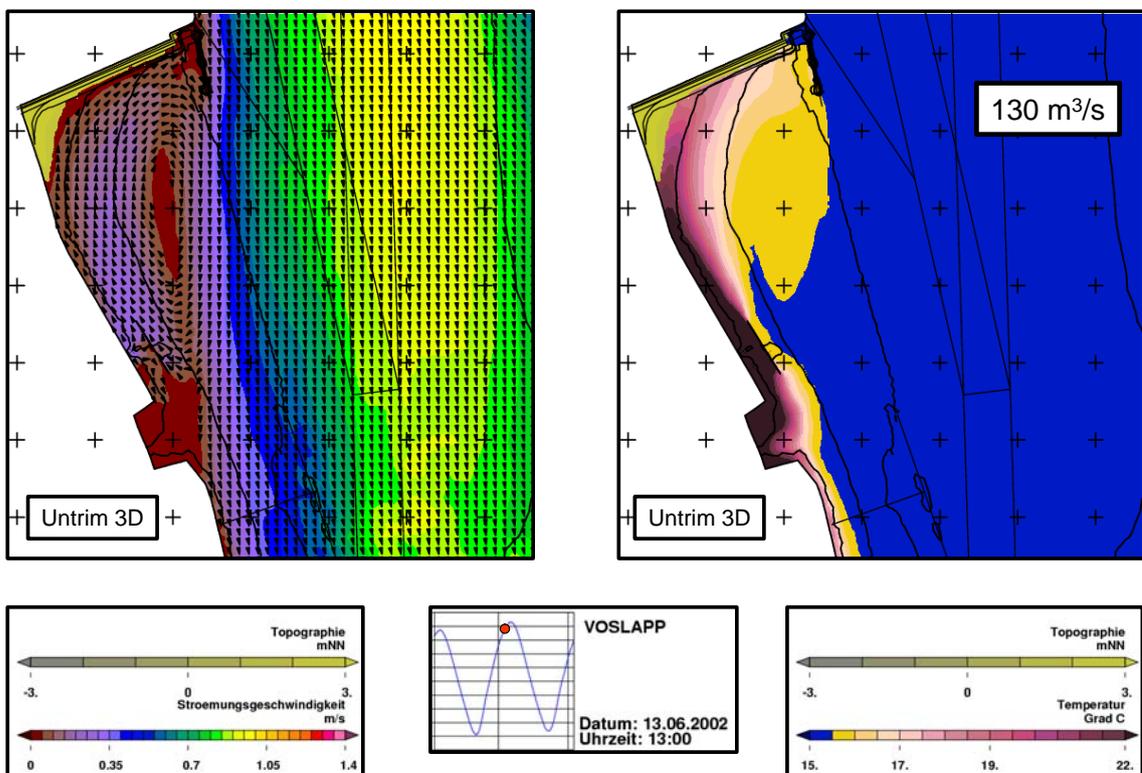


Abb. 22. Tiefengemittelte Strömungsgeschwindigkeiten und Wassertemperatur für den Ausbauzustand. Simulationszeitpunkt: 13.06.2002 13:00 Uhr

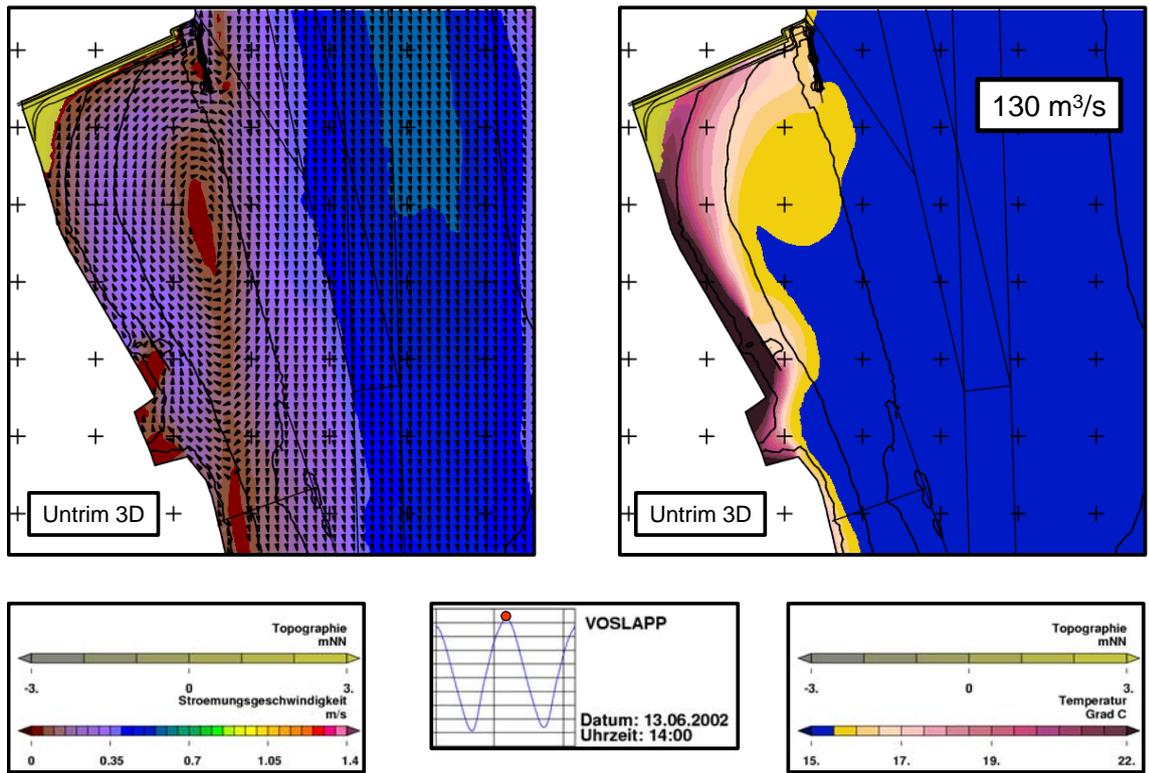


Abb. 23. Tiefengemittelte Strömungsgeschwindigkeiten und Wassertemperatur für den Ausbauzustand. Simulationszeitpunkt: 13.06.2002 14:00 Uhr

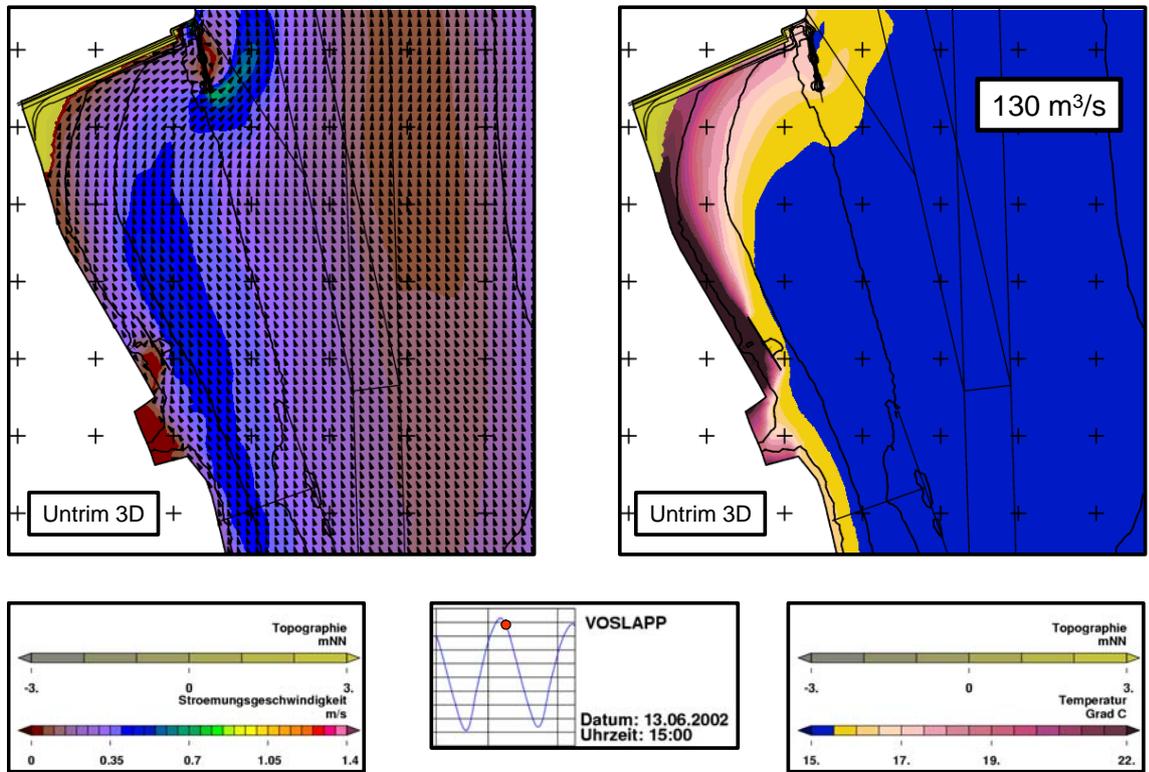


Abb. 24. Tiefengemittelte Strömungsgeschwindigkeiten und Wassertemperatur für den Ausbauzustand. Simulationszeitpunkt: 13.06.2002 15:00 Uhr

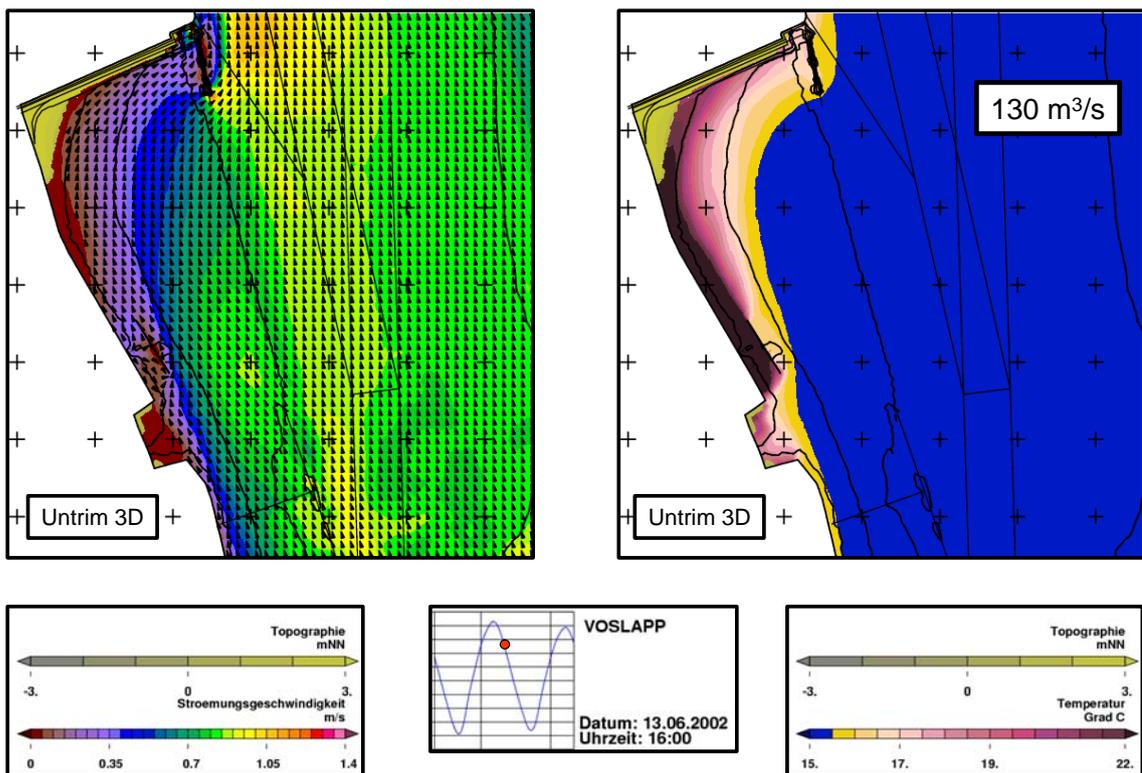


Abb. 25. Tiefengemittelte Strömungsgeschwindigkeiten und Wassertemperatur für den Ausbauzustand. Simulationszeitpunkt: 13.06.2002 16:00 Uhr

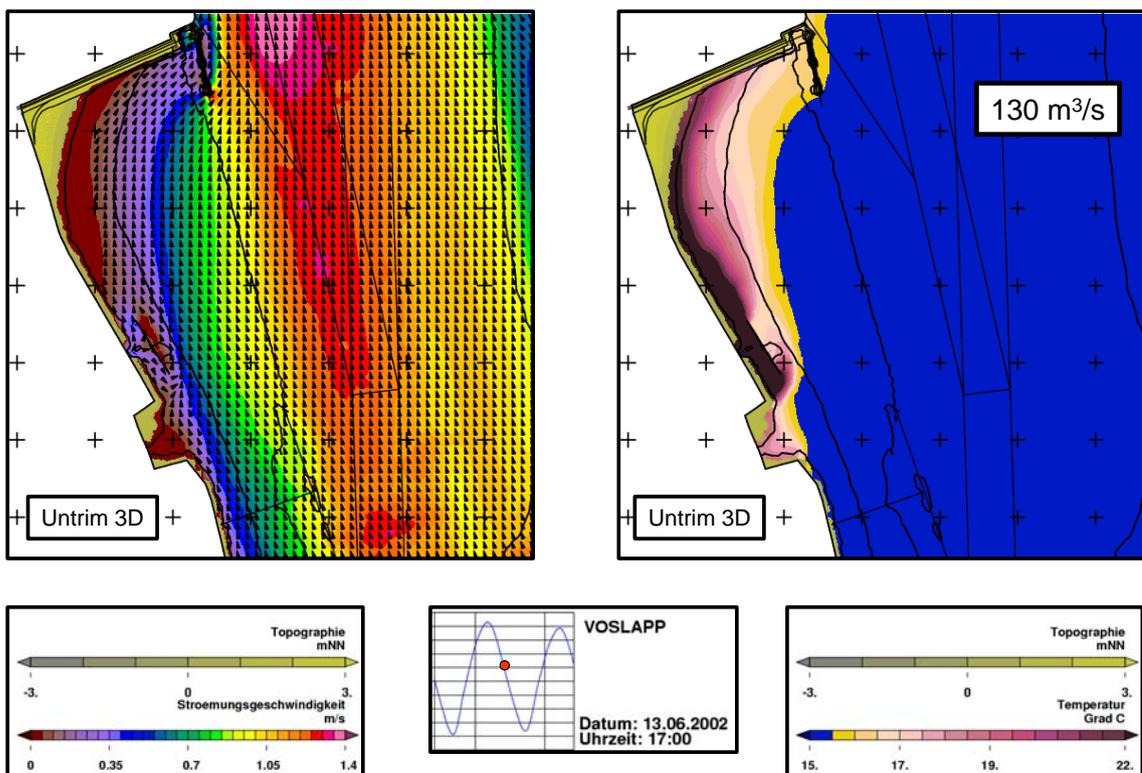


Abb. 26. Tiefengemittelte Strömungsgeschwindigkeiten und Wassertemperatur für den Ausbauzustand. Simulationszeitpunkt: 13.06.2002 17:00 Uhr

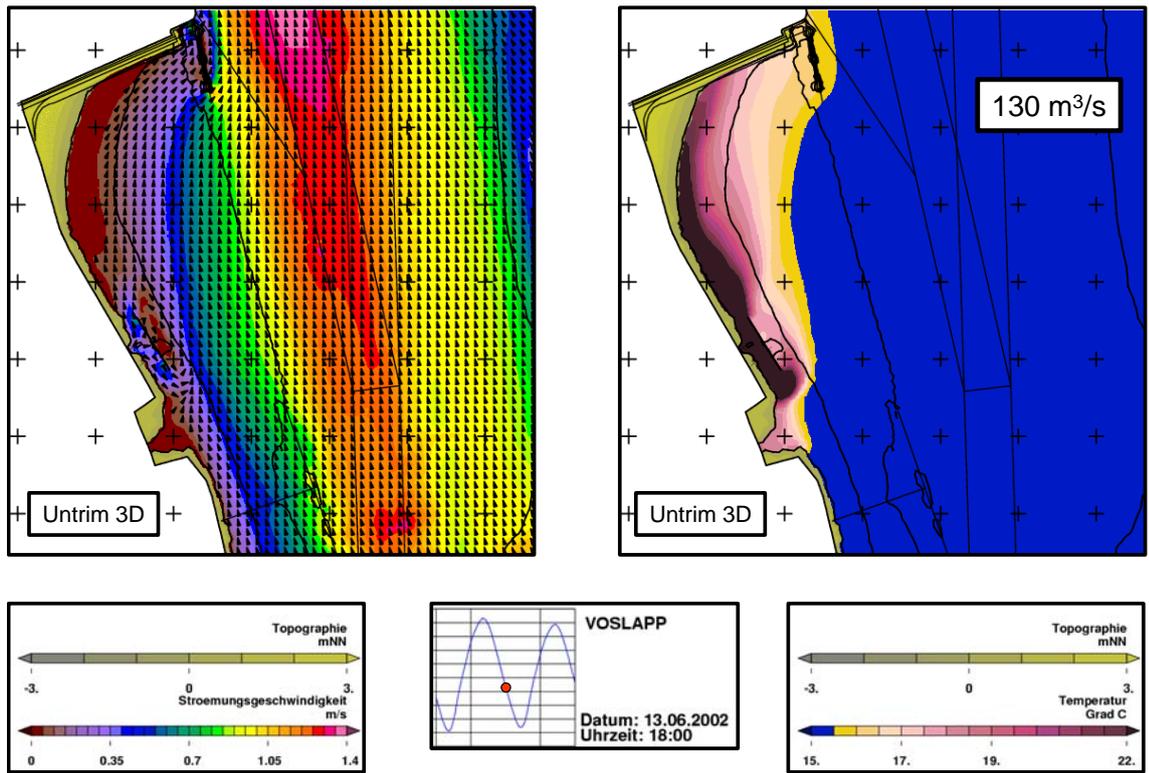


Abb. 27. Tiefengemittelte Strömungsgeschwindigkeiten und Wassertemperatur für den Ausbauzustand. Simulationszeitpunkt: 13.06.2002 18:00 Uhr

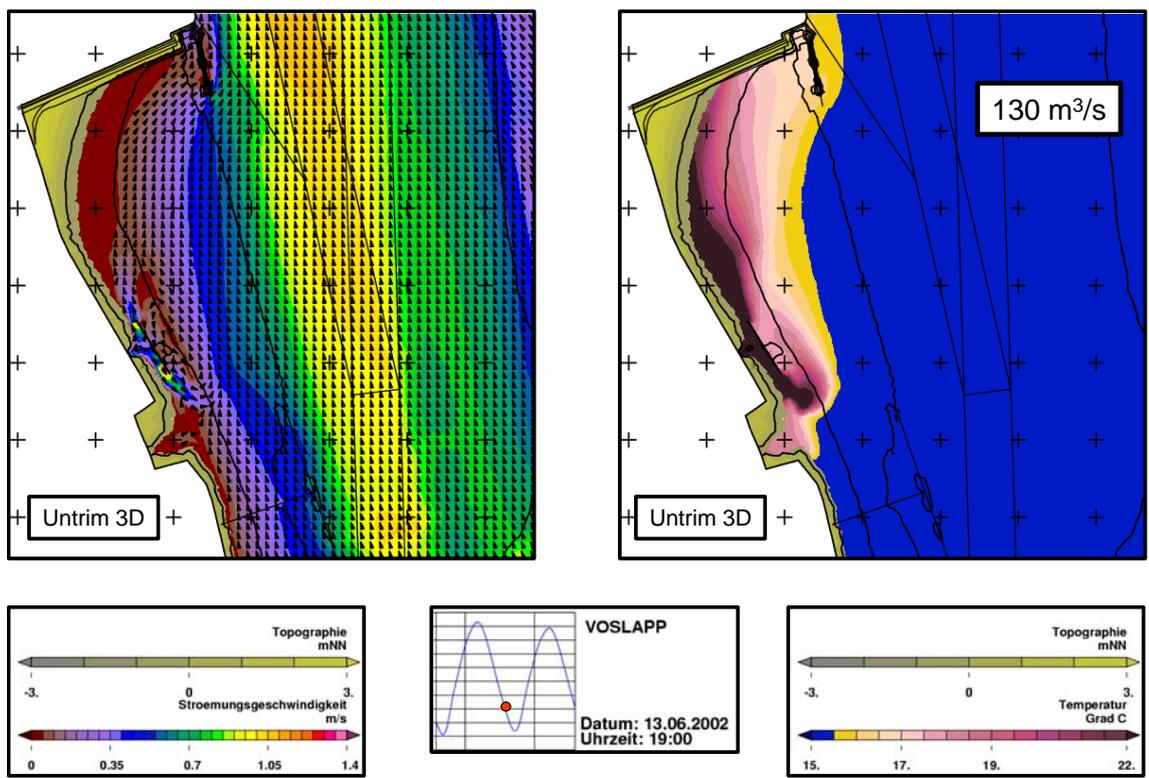


Abb. 28. Tiefengemittelte Strömungsgeschwindigkeiten und Wassertemperatur für den Ausbauzustand. Simulationszeitpunkt: 13.06.2002 19:00 Uhr

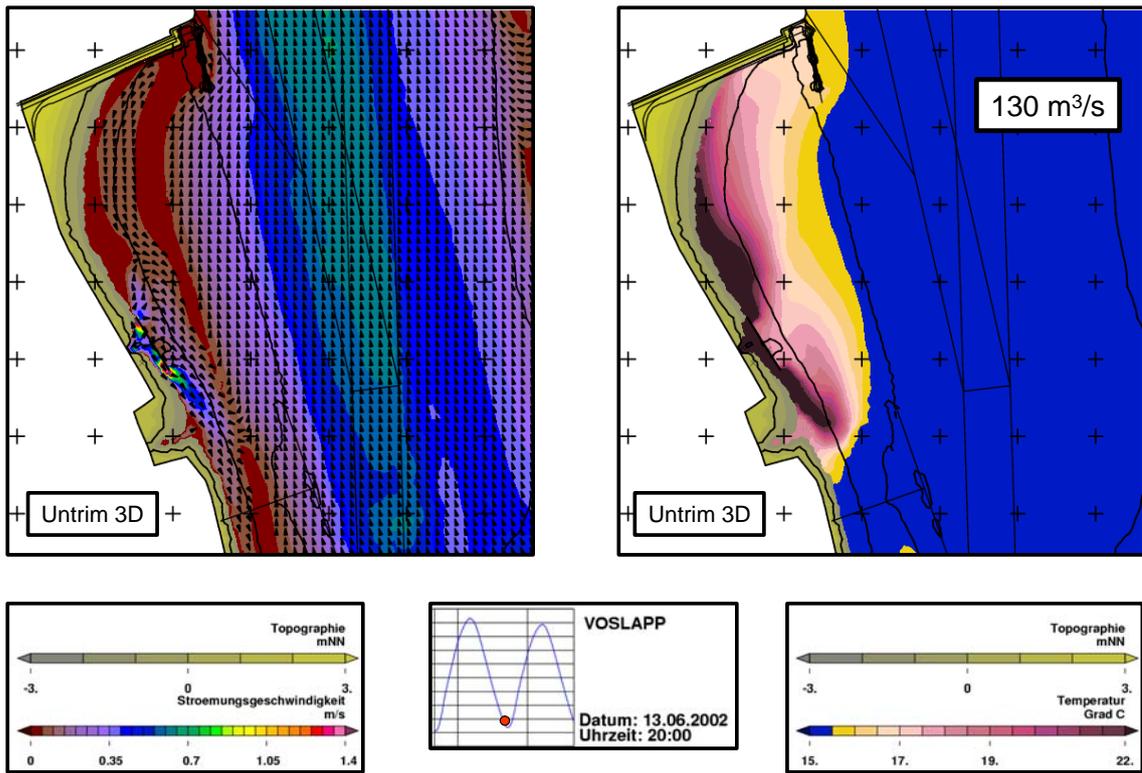


Abb. 29. Tiefengemittelte Strömungsgeschwindigkeiten und Wassertemperatur für den Ausbauzustand. Simulationszeitpunkt: 13.06.2002 20:00 Uhr

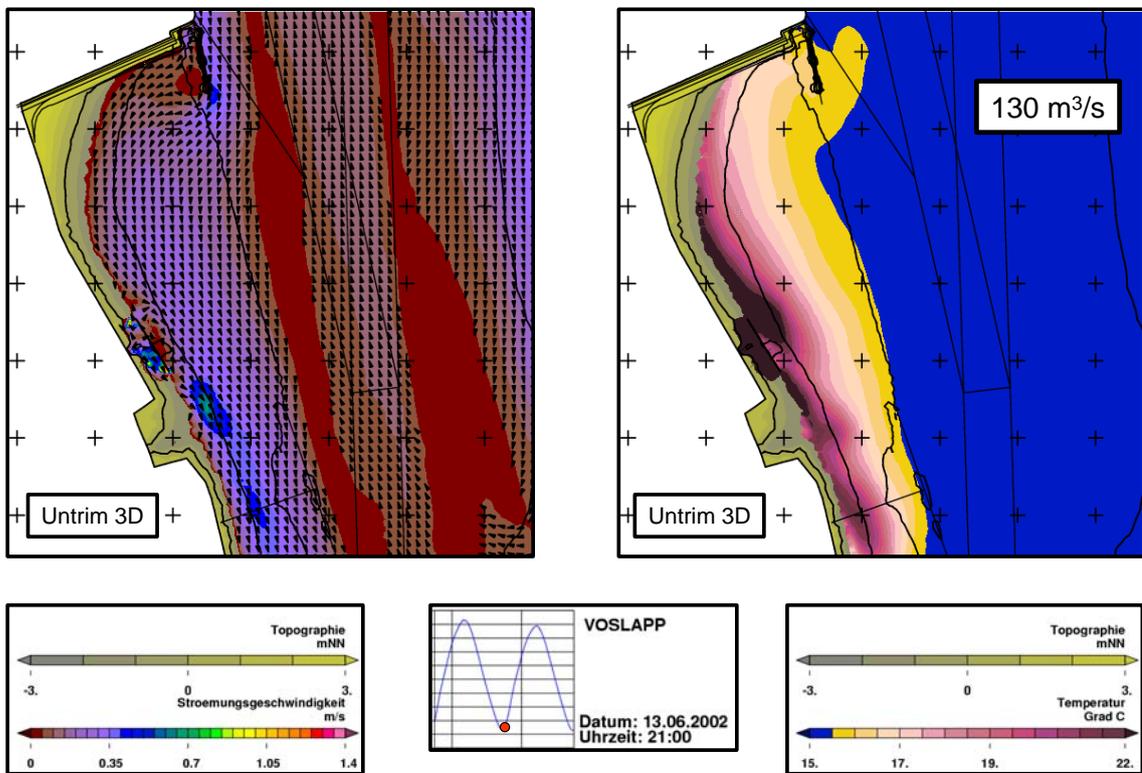


Abb. 30. Tiefengemittelte Strömungsgeschwindigkeiten und Wassertemperatur für den Ausbauzustand. Simulationszeitpunkt: 13.06.2002 21:00 Uhr

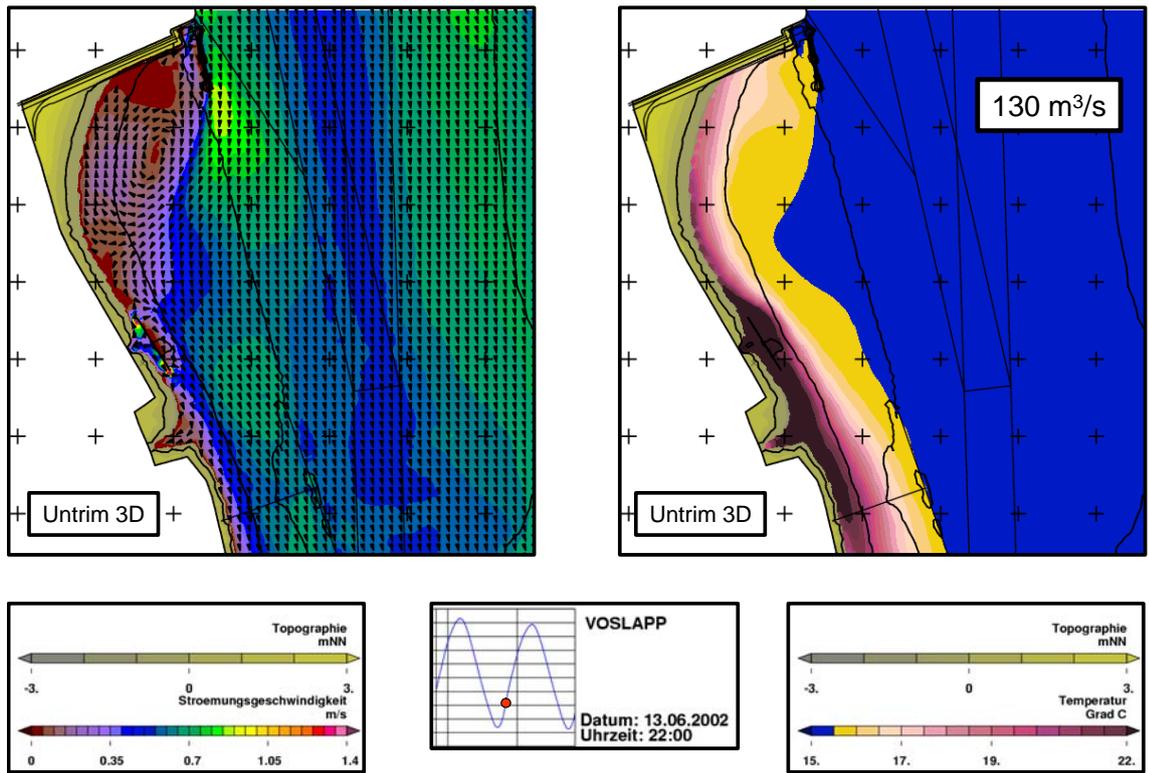


Abb. 31. Tiefengemittelte Strömungsgeschwindigkeiten und Wassertemperatur für den Ausbauzustand. Simulationszeitpunkt: 13.06.2002 22:00 Uhr

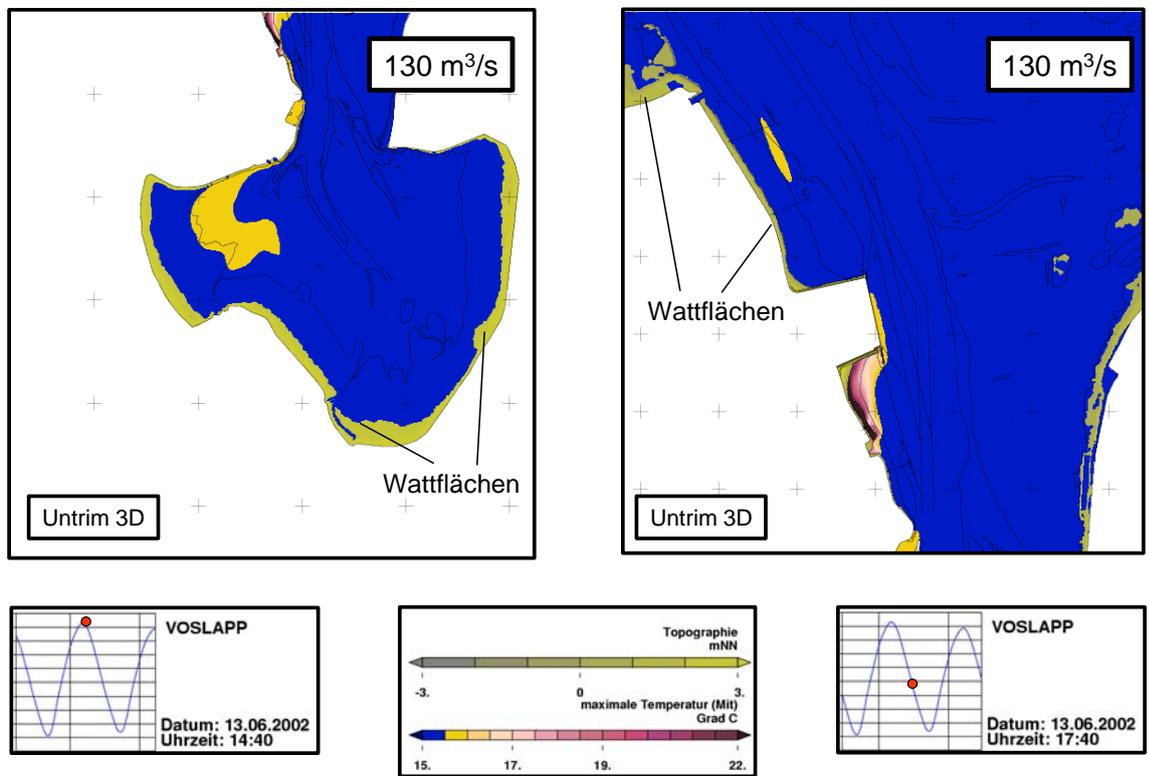


Abb. 32. Maximale Ausdehnung der Kühlwasserfahne bei Flut- und Ebbestromung

5.2 Darstellung der Kühlwasserausbreitung auf der Grundlage von Analyse- daten

Da synoptische Daten wie in Abschnitt 5.1 nur bedingt zur Beurteilung der Kühlwassersituation nach Erhöhung der Kühlwassermengen geeignet sind, werden im folgenden zwei Analysegrößen verwendet (Abb. 33):

- **Mittlere tiefengemittelte Wassertemperaturen:** Mittelwert der tiefengemittelten Wassertemperaturen über den gesamten Analysezeitraum
- **Maximale tiefengemittelte Wassertemperaturen:** Mittelwert der Temperaturmaxima / Tide (Im Beispiel: $T_{\max} = (T_{\max,1} + T_{\max,2} + T_{\max,3}) / 3$)

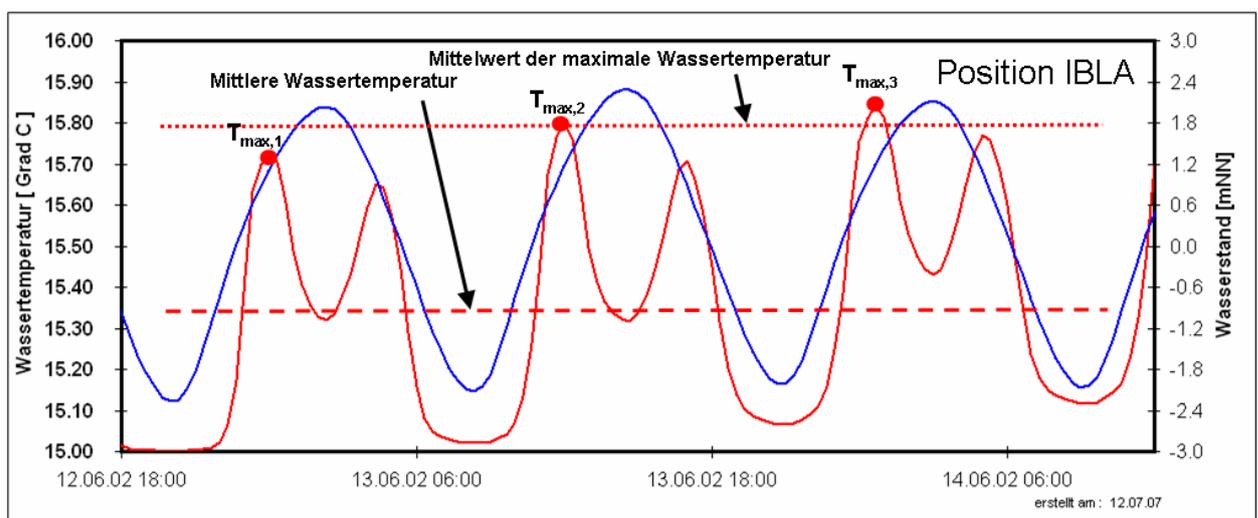


Abb. 33. Definition der charakteristischen Temperaturkennwerte

In den Abb. 34 bis Abb. 39 sind die mittleren und maximalen tiefenintegrierten Wassertemperaturen für drei verschiedene Teilgebiete für Spring- (Analysezeitraum: 12.06.2002 17:00 Uhr bis 14.06.2002 13:00 Uhr) und Nipptideverhältnisse (Analysezeitraum: 03.06.2002 21:00 Uhr bis 05.06.2002 17:00 Uhr) dargestellt.

Die Abb. 34 und Abb. 35 zeigen die maximale Querausdehnung der Kühlwasserfahne bei 130 m³/s Kühlwassermenge im Bereich zwischen NWO-Brücke und JadeWeserPort. Die maximale Breite der Kühlwasserfahne für mittlere Wassertemperaturen (Schwellenwert $\Delta T = 0,5$ K) beträgt rd. 750 m bis 1000 m und für maximale Wassertemperaturen rd. 1000 m bis 1500 m. Verursacht wird die große Breite der Kühlwasserfahne durch die niedrigen Strömungsgeschwindigkeiten im Bereich zwischen NWO-Brücke und JadeWeserPort für den angenommenen langfristigen morphologischen Systemzustand sowie die erhöhte Kühlwassermenge von 130 m³/s.

Die maximale Kühlwasserausbreitung nach Norden kann den Abb. 36 und Abb. 37 entnommen werden. Ein Schwellenwert von $\Delta T = 0,5$ K wird noch nördlich von Hooksiel sowohl für



mittlere als auch für maximale Wassertemperaturen für Nipptideverhältnisse überschritten. Für Springtideverhältnisse reicht die Kühlwasserfahne für maximale Wassertemperaturen bis Hooksiel. Die stärkere Ausbreitung der Kühlwasserfahne für Nipptideverhältnisse kann auf die geringeren Wassertiefen zurückgeführt werden, wodurch der gewählte Schwellenwert von $\Delta T = 0,5$ K in der Mittelung über die Wassertiefe eher überschritten wird.

Abschließend sind in der Abb. 38 und Abb. 39 die mittleren und maximalen Temperaturen im Jadebusen dargestellt. Stellenweise wird ein Schwellenwert von $\Delta T = 0,5$ K im Bereich des Sander Watts für mittlere Temperaturen überschritten. Die maximalen Wassertemperaturen überschreiten den Schwellenwert von $\Delta T = 0,5$ K der Farblegende in Teilen des Sander Watts, des Bordumer Watts und des Stenkentiefs.

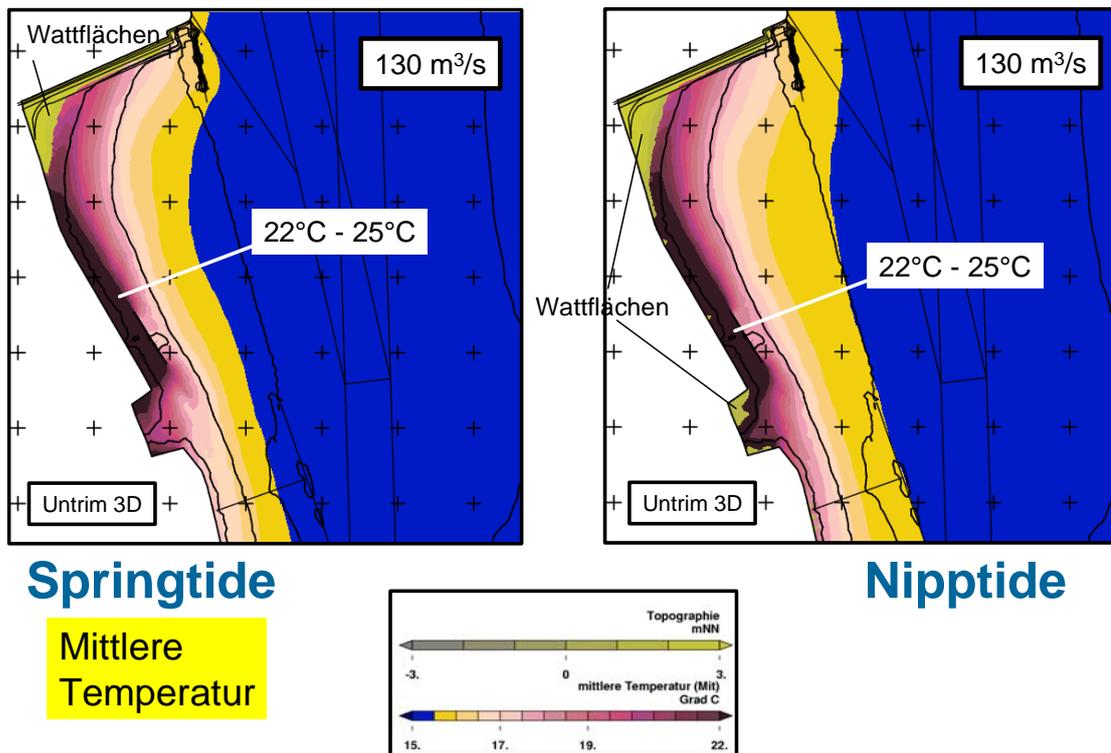


Abb. 34. Mittlere tiefengemittelte Temperaturen für den Ausbauzustand im Bereich zwischen NWO-Brücke und JadeWeserPort für Spring- (links) und Nipptideverhältnisse (rechts)

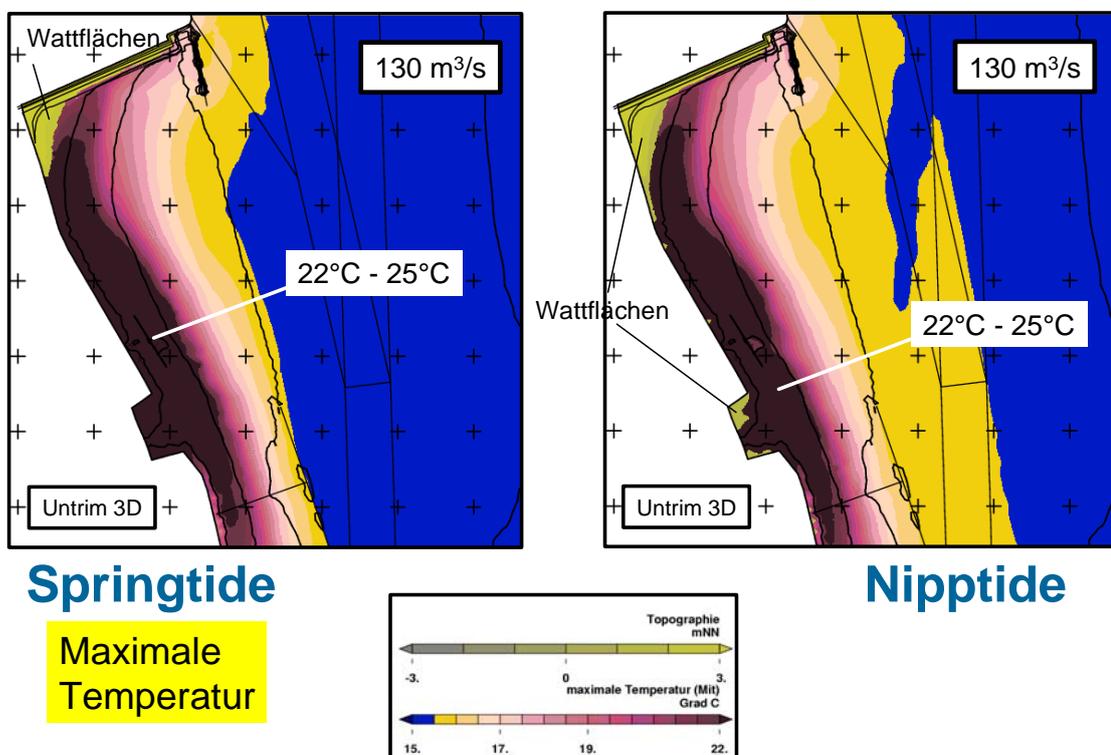


Abb. 35. Maximale tiefengemittelte Temperaturen für den Ausbauzustand im Bereich zwischen NWO-Brücke und JadeWeserPort für Spring- (links) und Nipptideverhältnisse (rechts)

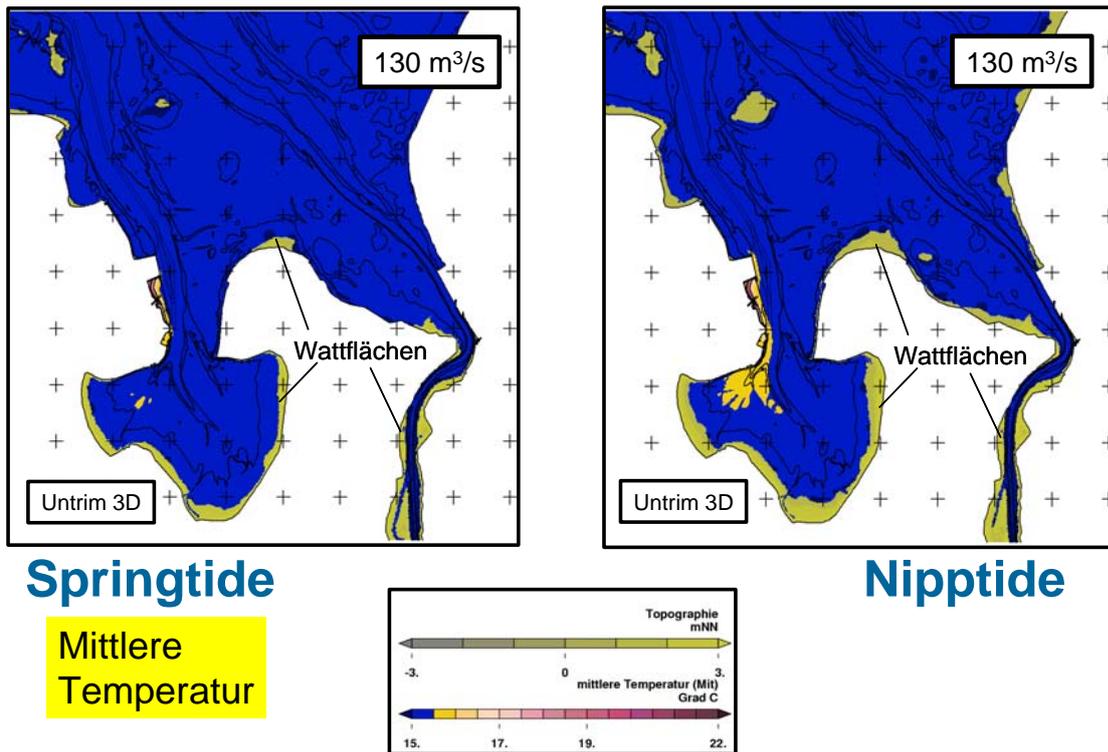


Abb. 36. Mittlere tiefengemittelte Temperaturen für den Ausbauzustand in Außenjade, Innenjade und Jadebusen für Spring- (links) und Nipptideverhältnisse (rechts)

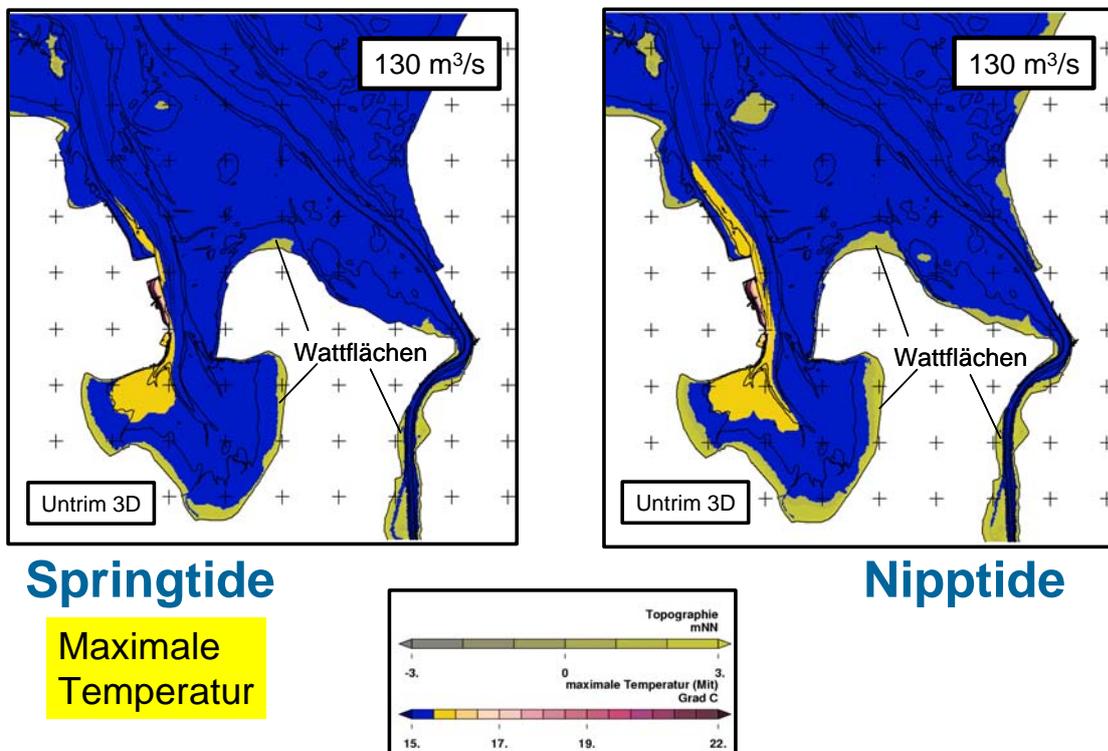


Abb. 37. Maximale tiefengemittelte Temperaturen für den Ausbauzustand in Außenjade, Innenjade und Jadebusen für Spring- (links) und Nipptideverhältnisse (rechts)

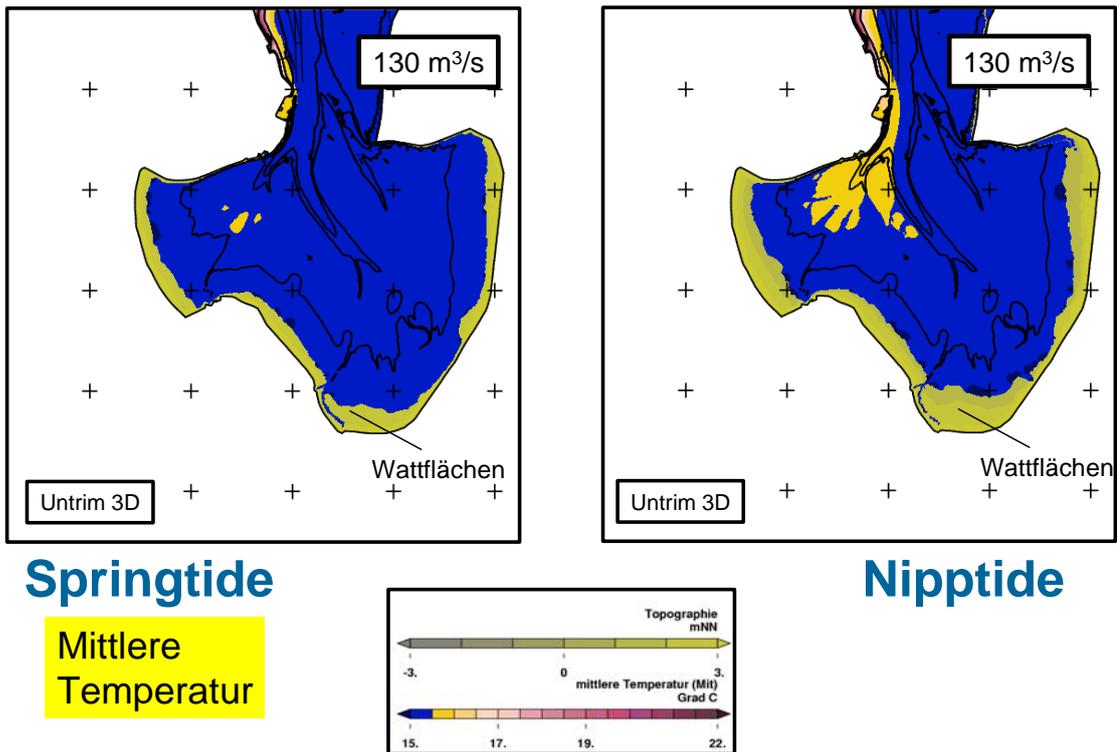


Abb. 38. Mittlere tiefengemittelte Temperaturen für den Ausbauzustand im Jadebusen für Spring- (links) und Nipptideverhältnisse (rechts)

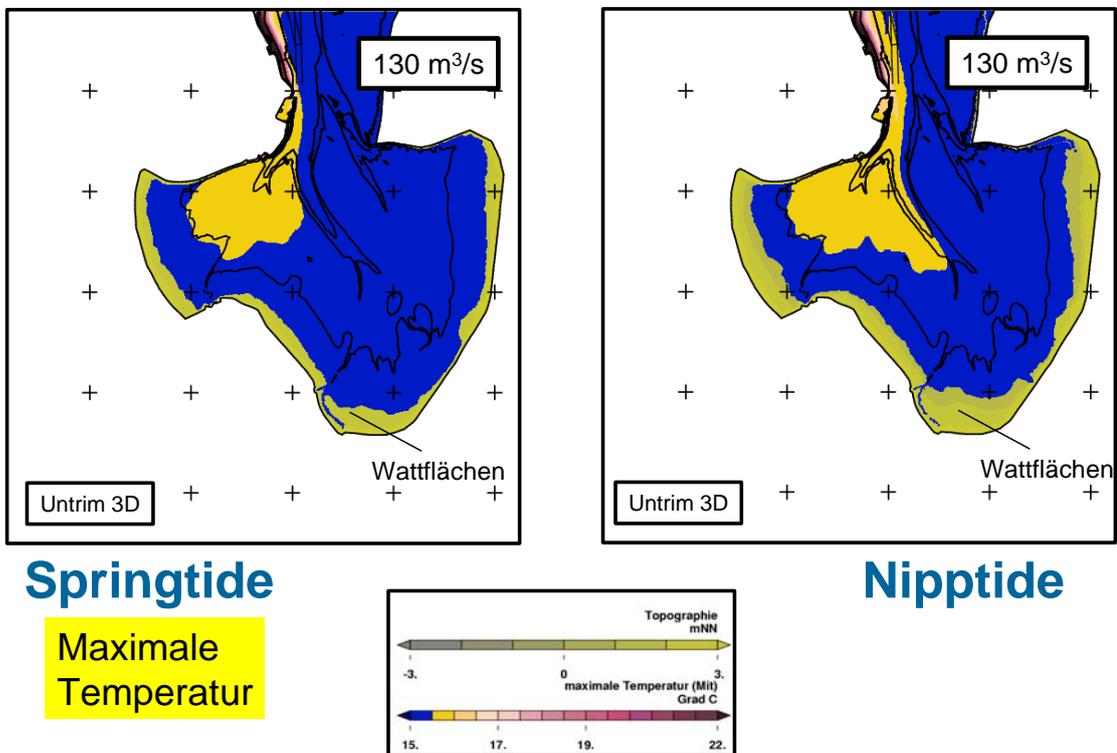


Abb. 39. Maximale tiefengemittelte Temperaturen für den Ausbauzustand im Jadebusen für Spring- (links) und Nipptideverhältnisse (rechts)



5.3 Vergleich der Kühlwasserausbreitung für eine Kühlwasserentnahmemenge von 130 m³/s zur Kühlwasserausbreitung für eine Kühlwasserentnahmemenge von 30 m³/s

Um die Auswirkungen einer Erhöhung der Kühlwasserentnahmemenge von 30 m³/s auf 130 m³/s auf die Bereiche Jadebusen, Innenjade und Außenjade im Vergleich zum heutigen Zustand besser abschätzen zu können, wurden die berechneten mittleren und maximalen tiefengemittelten Wassertemperaturen für beide Kühlwassermengen im Vergleich für Nipptideverhältnisse dargestellt.

Die Abb. 40 und Abb. 41 zeigen die mittleren und maximalen tiefengemittelten Wassertemperaturen zwischen NWO-Brücke im Süden und Niedersachsenbrücke im Norden. Der Vergleich zeigt, dass es infolge der Erhöhung der Kühlwassermenge in diesem Bereich zu einer Verbreiterung der Kühlwasserfahne zwischen 500 m und 1000 m und zu einer Erhöhung der ufernahen Wassertemperaturen um bis zu 8 Kelvin kommt (Abb. 42). Die Abb. 43 und Abb. 44 zeigen dies durch eine geänderte Farblegende ebenfalls.

Die Abb. 45 und Abb. 46 zeigen die Kühlwasserausbreitung für die beiden untersuchten Kühlwassermengen zwischen der 4. Einfahrt Wilhelmshaven und Hooksiel. Die Ausdehnung der Kühlwasserfahne geht für beide Kühlwassermengen für maximale tiefengemittelte Wassertemperaturen über Hooksiel hinaus. Als Folge des JadeWeserPort wird die Kühlwasserausbreitung nach Norden behindert, so dass die Ausdehnung der Kühlwasserfahne für mittlere Wassertemperaturen und eine Kühlwassermenge von 130 m³/s nördlich des JadeWeserPort geringer als im Fall einer Kühlwassermenge von 30 m³/s ohne JadeWeserPort ist. Die Ausdehnung der beiden Kühlwasserfahnen nach Süden geht für mittlere und maximale tiefengemittelte Wassertemperaturen über die 4. Einfahrt Wilhelmshaven hinaus. Es kann gezeigt werden, dass die Breite der Kühlwasserfahne sowie die ufernahen Wassertemperaturen zwischen 4. Einfahrt Wilhelmshaven und NWO-Brücke nach einer Erweiterung deutlich zunehmen werden.

Hinweis: Im Vergleich der Kühlwasserausbreitung für 30 m³/s und 130 m³/s sind die Auswirkungen des JadeWeserPort, des angenommenen langfristigen Systemzustands, der Prallwand und des Verbaus der Niedersachsenbrücke implizit enthalten. Die Kühlwasserausbreitung für eine Kühlwasserrückgabemenge von 30 m³/s unter Berücksichtigung des JadeWeserPort, des angenommenen langfristigen Systemzustands der Jade, der Prallwand und des Verbaus der Niedersachsenbrücke kann dem BAW-Gutachten (BAW, 2006) zum Planfeststellungsverfahren JadeWeserPort entnommen werden.

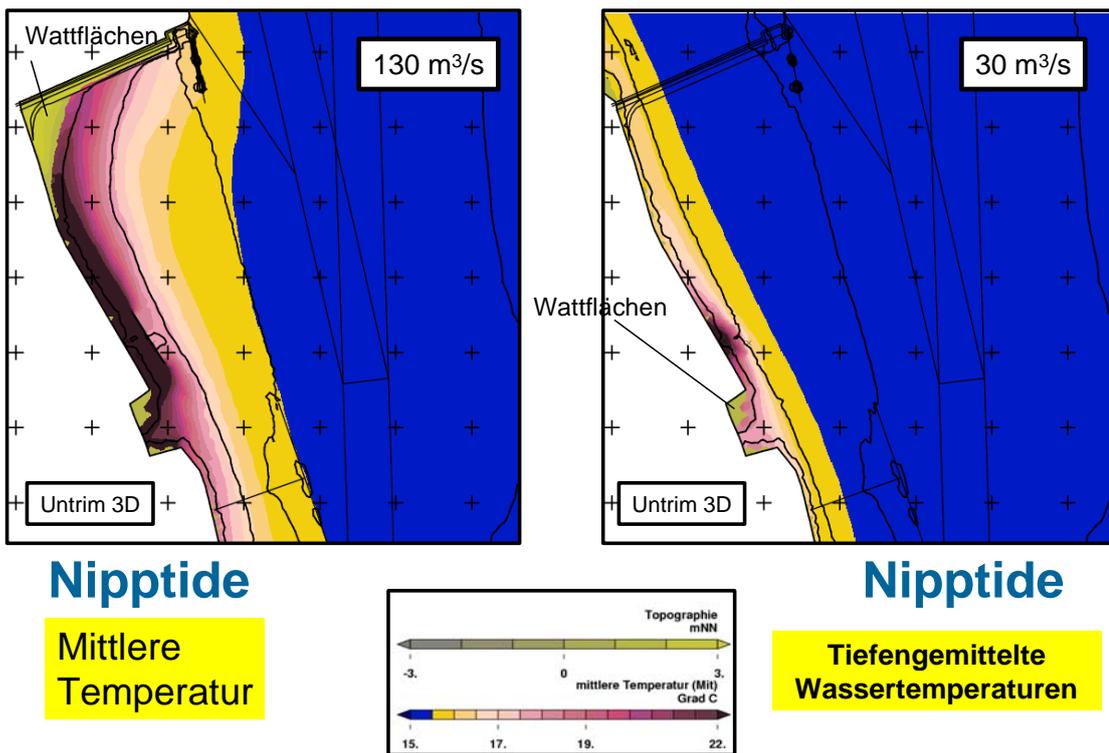


Abb. 40. Mittlere tiefengemittelte Wassertemperaturen für eine Kühlwassermenge von 130 m³/s (links) und 30 m³/s (rechts) und Nipptideverhältnisse

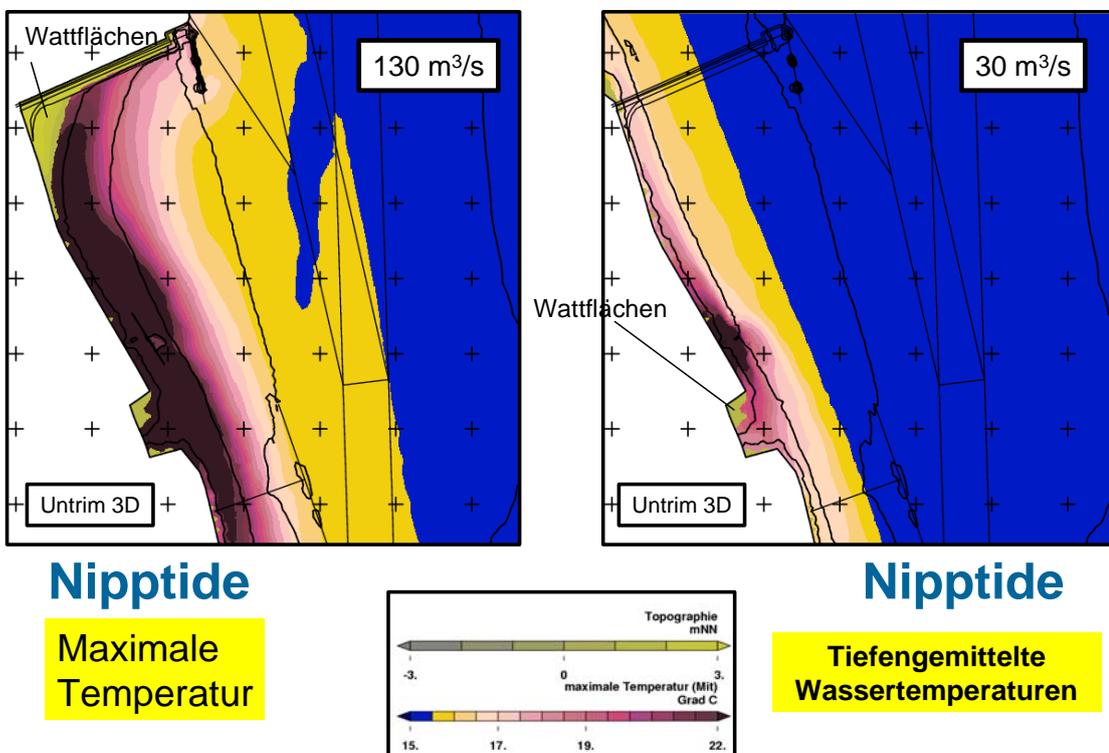


Abb. 41. Maximale tiefengemittelte Wassertemperaturen für eine Kühlwassermenge von 130 m³/s (links) und 30 m³/s (rechts) und Nipptideverhältnisse

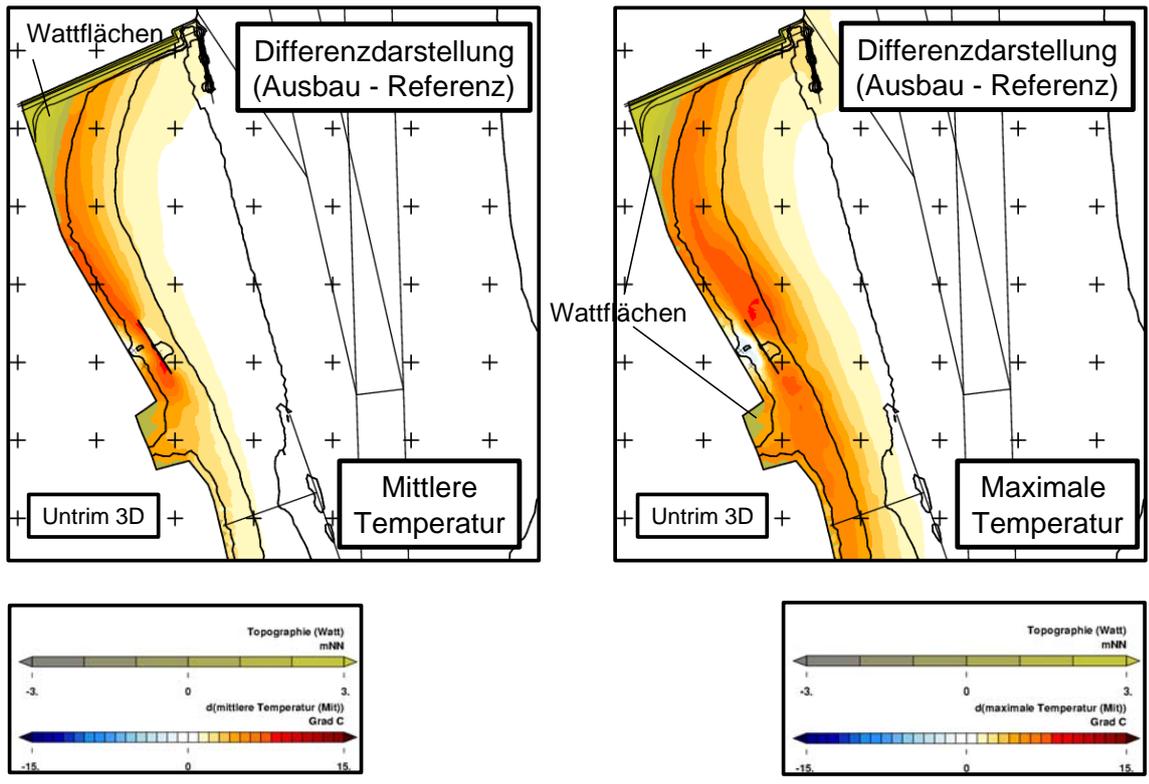


Abb. 42. Differenzdarstellung – Erhöhung der mittleren und maximalen Wassertemperaturen infolge einer Kühlwassermenge von $130 \text{ m}^3/\text{s}$ für den Ausbauzustand gegenüber dem Referenzzustand mit einer Kühlwassermenge von $30 \text{ m}^3/\text{s}$

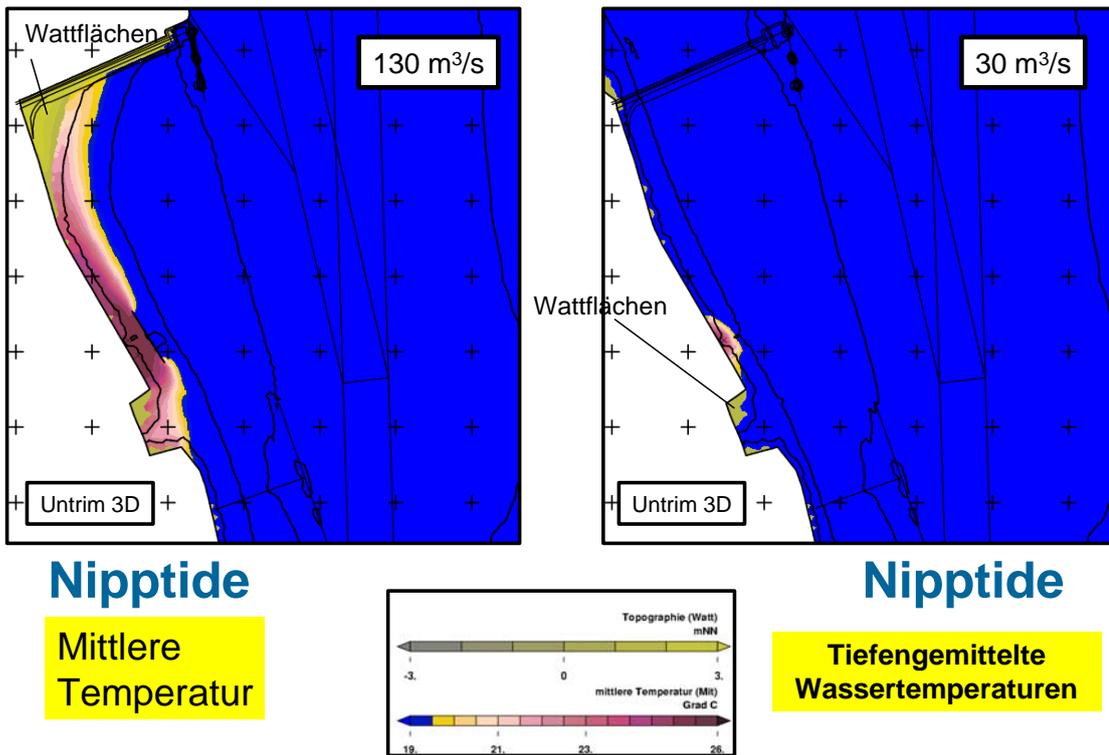


Abb. 43. Mittlere tiefengemittelte Wassertemperaturen für eine Kühlwassermenge von 130 m³/s (links) und 30 m³/s (rechts) und Nipptideverhältnisse (**Legende!**)

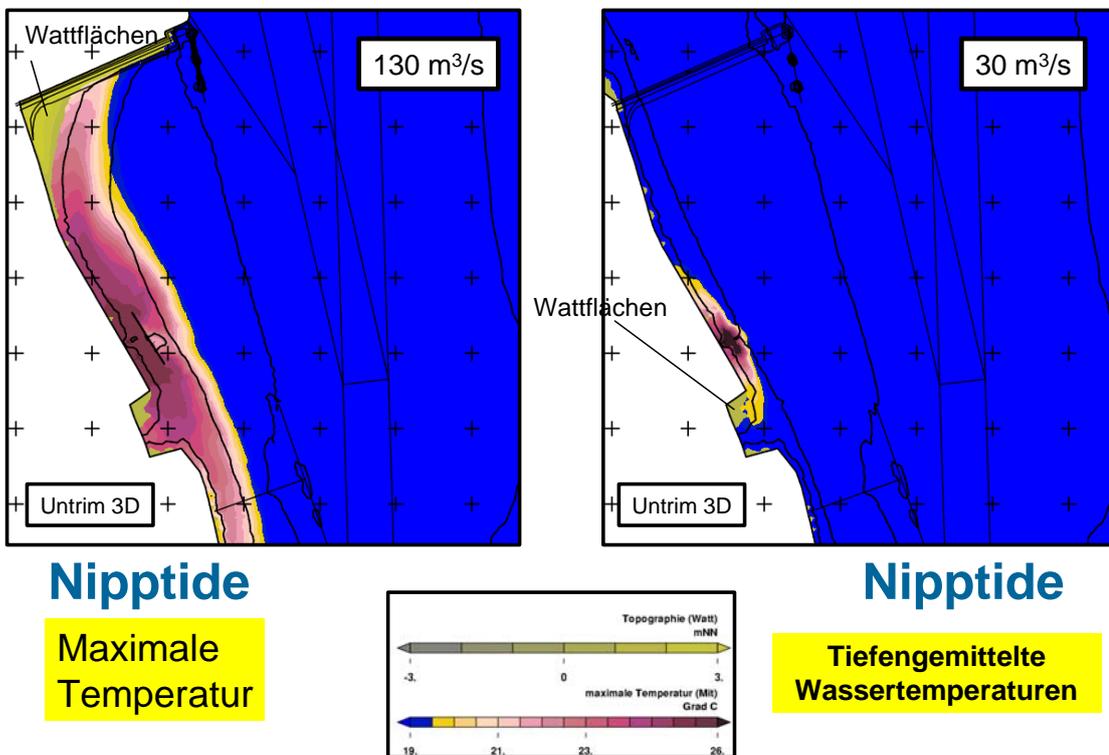


Abb. 44. Maximale tiefengemittelte Wassertemperaturen für eine Kühlwassermenge von 130 m³/s (links) und 30 m³/s (rechts) und Nipptideverhältnisse (**Legende!**)

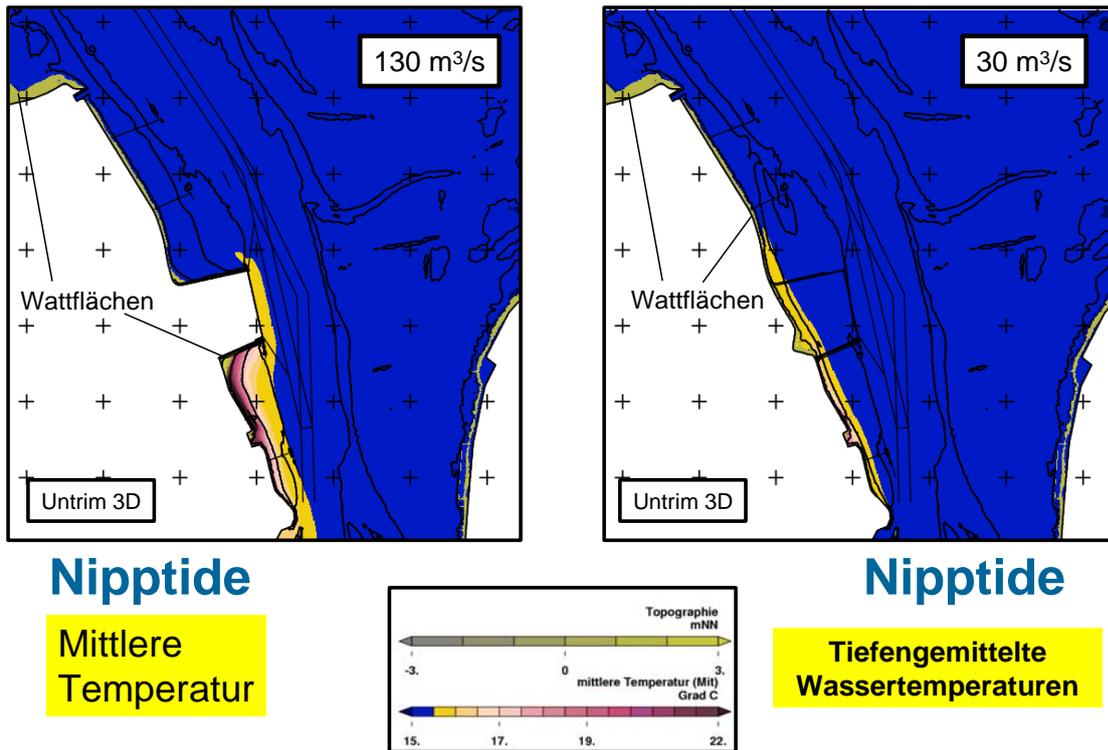


Abb. 45. Mittlere tiefengemittelte Wassertemperaturen für eine Kühlwassermenge von 130 m³/s (links) und 30 m³/s (rechts) und Nipptideverhältnisse

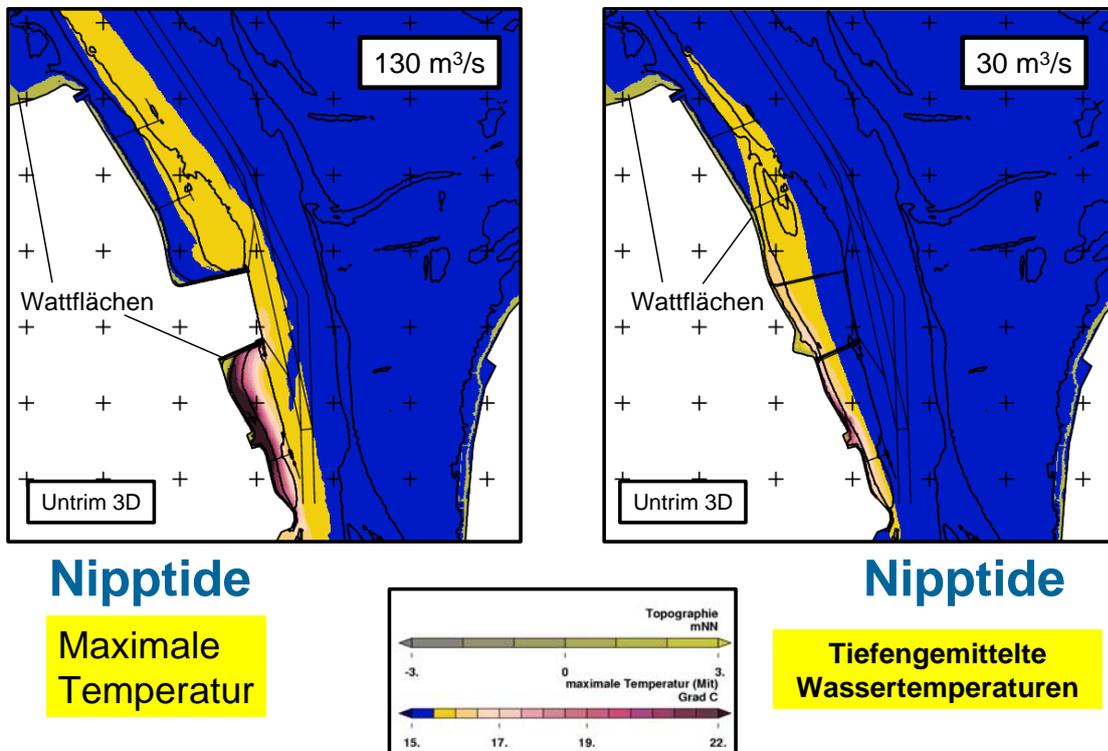


Abb. 46. Maximale tiefengemittelte Wassertemperaturen für eine Kühlwassermenge von 130 m³/s (links) und 30 m³/s (rechts) und Nipptideverhältnisse



5.4 Wassertemperaturen in der Oberflächen- und der Bodenschicht für eine Kühlwasserentnahmemenge von 130 m³/s im Vergleich zu 30 m³/s

Im Folgenden sollen beispielhaft die Wassertemperaturen in der Oberflächen- und der Bodenschicht für Springtideverhältnisse dargestellt werden.

In den Abb. 47 bis Abb. 61 sind die Wassertemperaturen in der Boden- und Oberflächenschicht über eine ausgewählte Springtide (Analysezeitraum 12.06.2002 17:00 Uhr bis 14.06.2002 13.00 Uhr) dargestellt. Bei der Interpretation der Ergebnisse ist zu beachten, dass es sich um die mittlere Wassertemperatur in der untersten bzw. der obersten feuchten Zelle handelt. Sowohl die oberste als auch die unterste Zelle sind daher definitionsgemäß nicht immer vollständig mit Wasser gefüllt (In der untersten Zelle gehört ein Teil der Zelle zum Boden in der obersten Zelle zur Luft). Die Mittelung der Wassertemperatur in der entsprechenden Zelle findet somit über eine variable Höhe Δz statt, die in den meisten Fällen kleiner als die Zellenhöhe ist. Dies ist insbesondere bei nennenswerten vertikalen Gradienten der Wassertemperatur bei der Interpretation der Ergebnisse zu beachten.

Die Ergebnisse in den Abb. 47 bis Abb. 61 zeigen eine nahezu gleichmäßige Verteilung der Wassertemperaturen über die Wassersäule im ufernahen Bereich aufgrund der geringen Wassertiefen und der niedrigen Strömungsgeschwindigkeiten. Die Ausbreitung der Kühlwasserfahne ist für die Oberflächen- und die Bodenschicht nahezu identisch und entspricht somit der Beschreibung der Kühlwasserausbreitung auf der Grundlage synoptischer Datensätze in Abschnitt 5.1. Die Wassertemperaturen in der Oberflächenschicht sind etwas höher als in der Bodenschicht.

Abschließend wurden die mittleren und maximalen Wassertemperaturen in der Bodenschicht für die ausgewählte Springtide analysiert (Abb. 62). Eine Temperaturerhöhung von mehr als 7 K für maximale Temperaturen ist in einem rd. 400 m breiten Streifen parallel zur Küste von der NWO-Brücke im Süden bis fast zur Südflanke des JadeWeserPort im Norden zu erkennen. Die Ausbreitung der Kühlwasserfahne am Boden reicht für maximale Temperaturen bis zur NN-10 m-Tiefenlinie, d.h. die Breite der Kühlwasserfahne am Boden beträgt rd. 1000 m (Schwellenwert: 0,5 K). Für mittlere Temperaturen beträgt die Breite der Kühlwasserfahne am Boden rd. 600 m (Schwellenwert: 0,5 K).

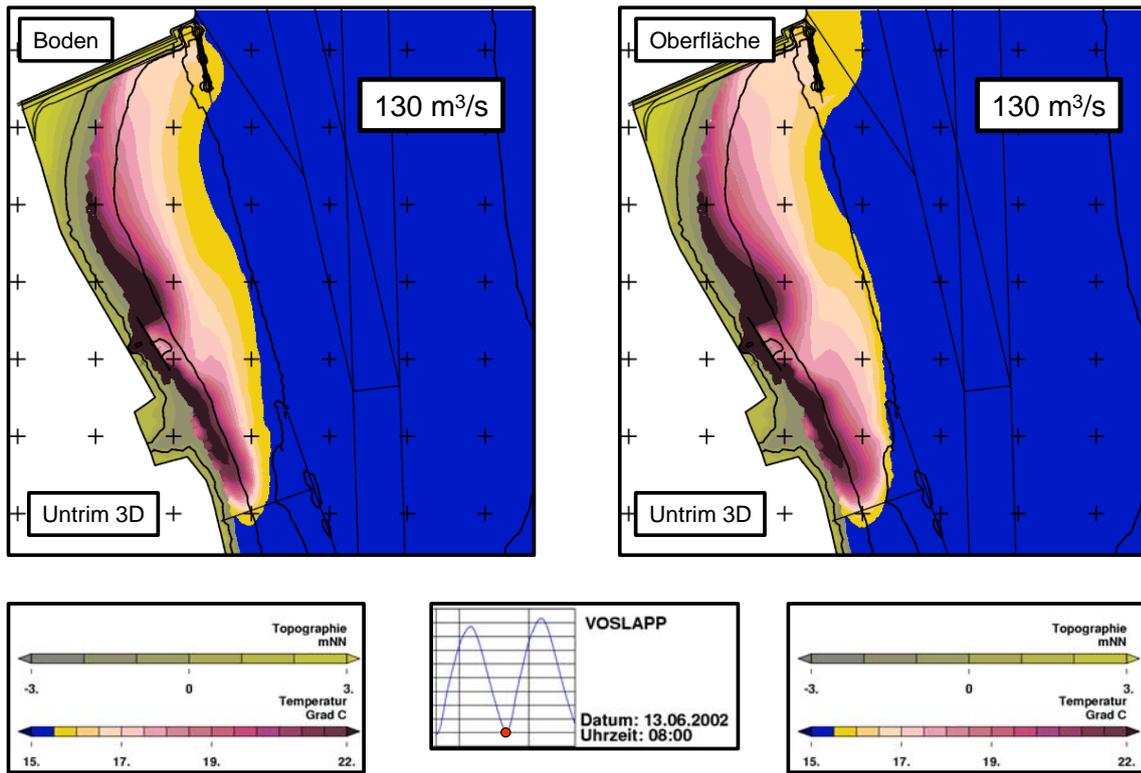


Abb. 47. Wassertemperaturen in der Boden- und der Oberflächenschicht für den Ausbauzustand. Simulationszeitpunkt: 13.06.2002 08:00 Uhr

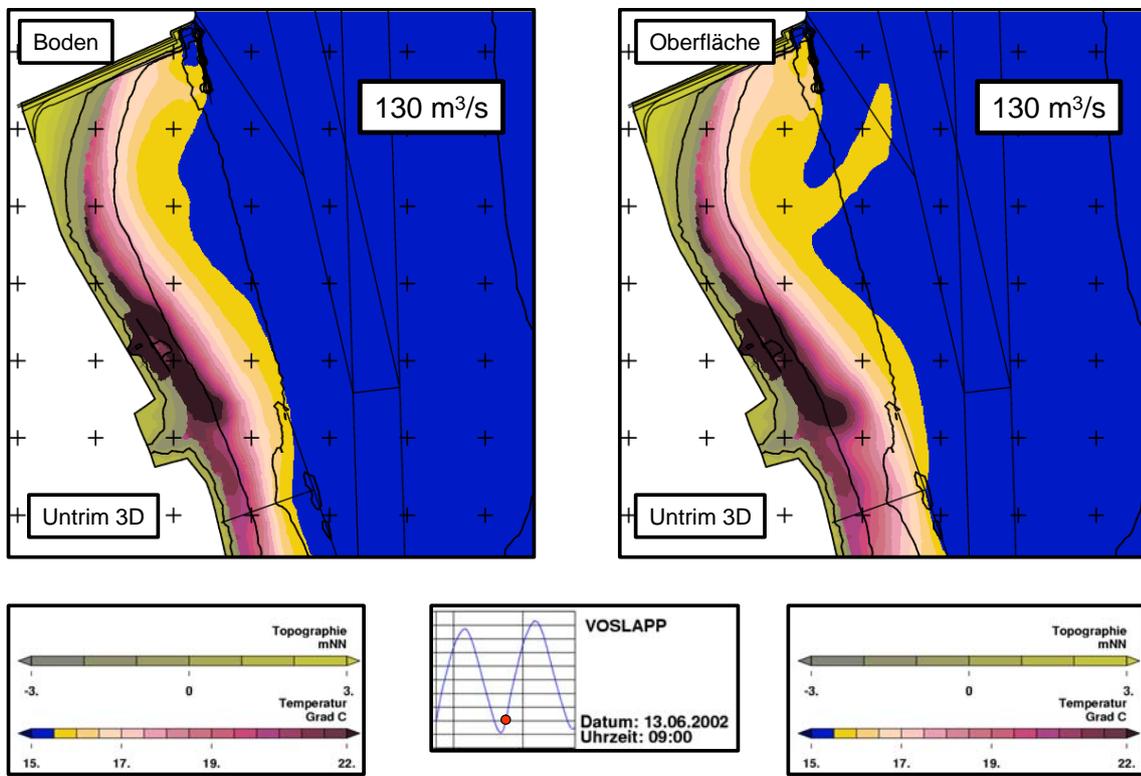


Abb. 48. Wassertemperaturen in der Boden- und der Oberflächenschicht für den Ausbauzustand. Simulationszeitpunkt: 13.06.2002 09:00 Uhr

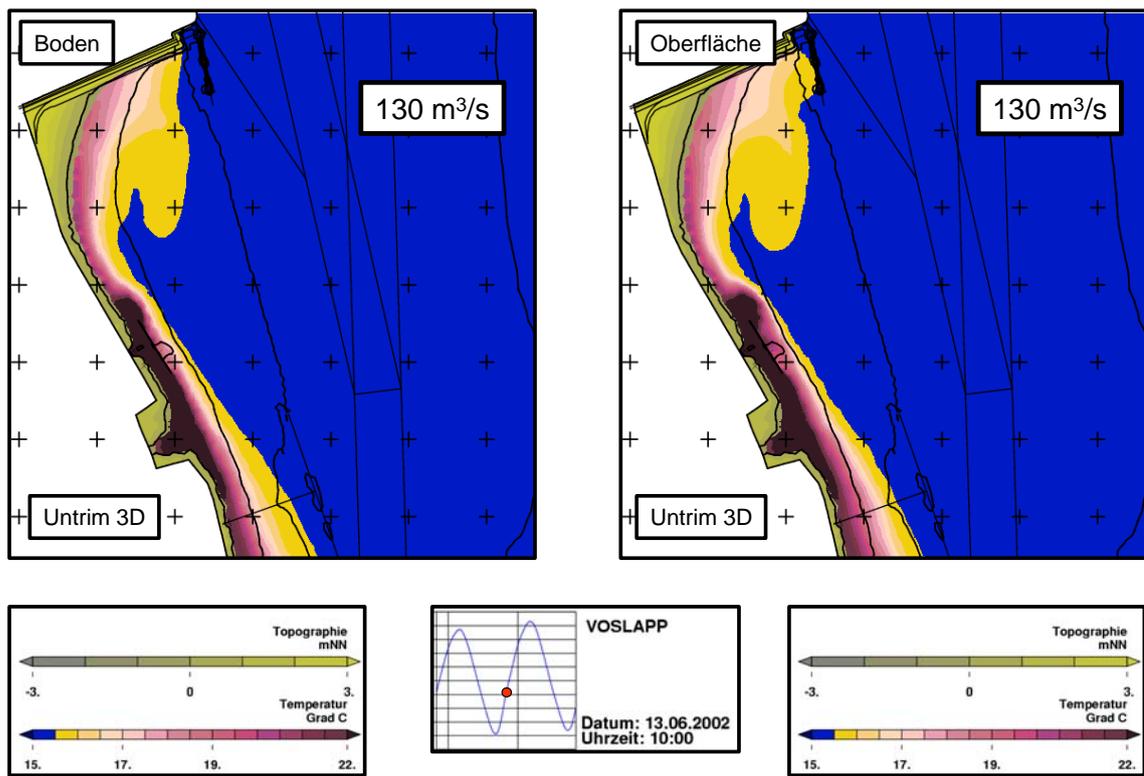


Abb. 49. Wassertemperaturen in der Boden- und der Oberflächenschicht für den Ausbauzustand. Simulationszeitpunkt: 13.06.2002 10:00 Uhr

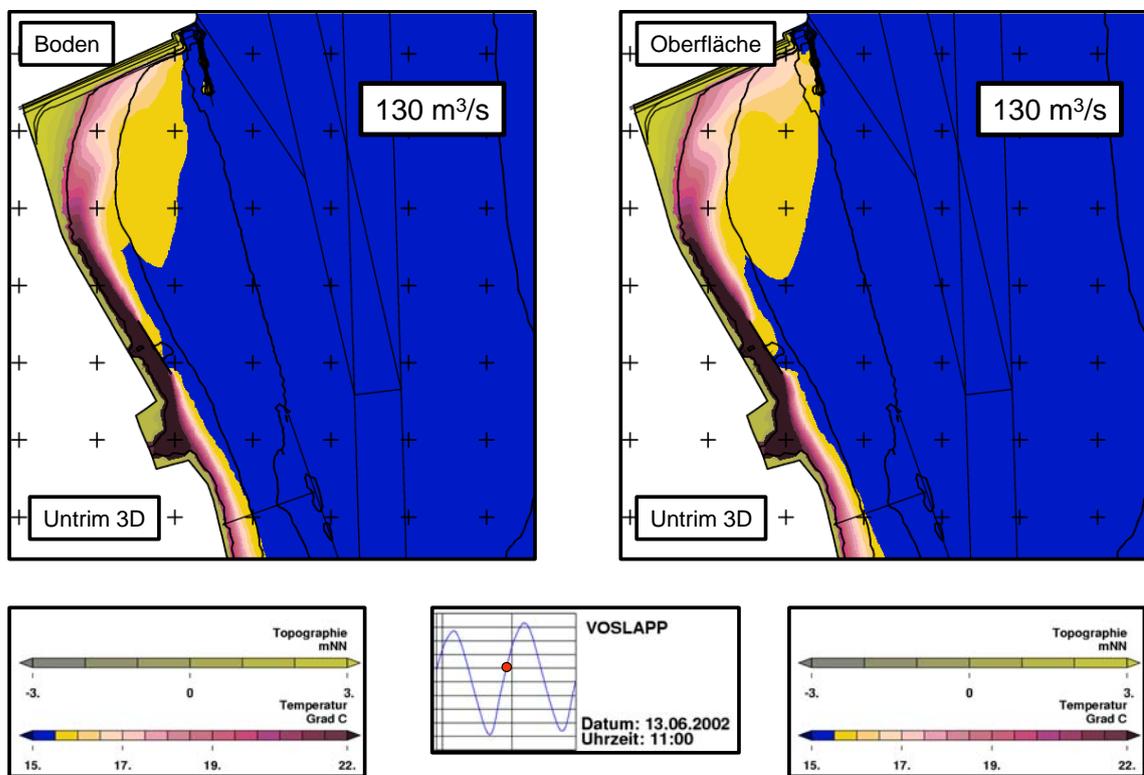


Abb. 50. Wassertemperaturen in der Boden- und der Oberflächenschicht für den Ausbauzustand. Simulationszeitpunkt: 13.06.2002 11:00 Uhr

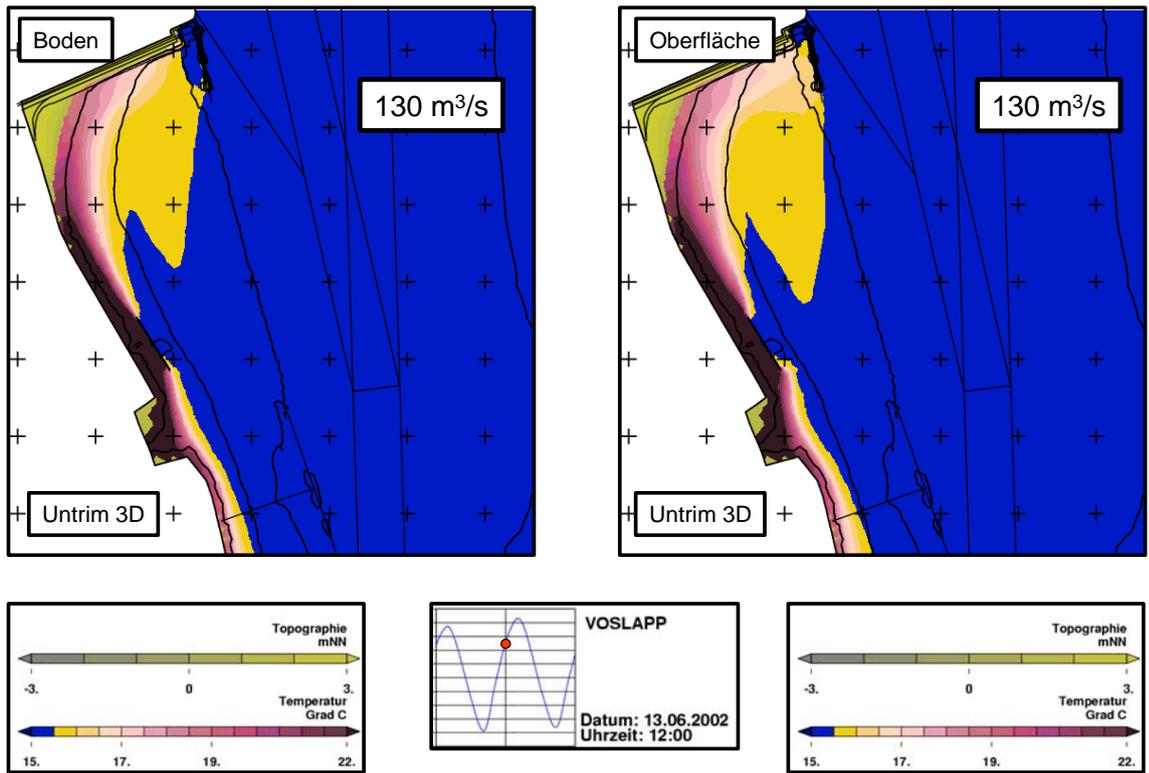


Abb. 51. Wassertemperaturen in der Boden- und der Oberflächenschicht für den Ausbauzustand. Simulationszeitpunkt: 13.06.2002 12:00 Uhr

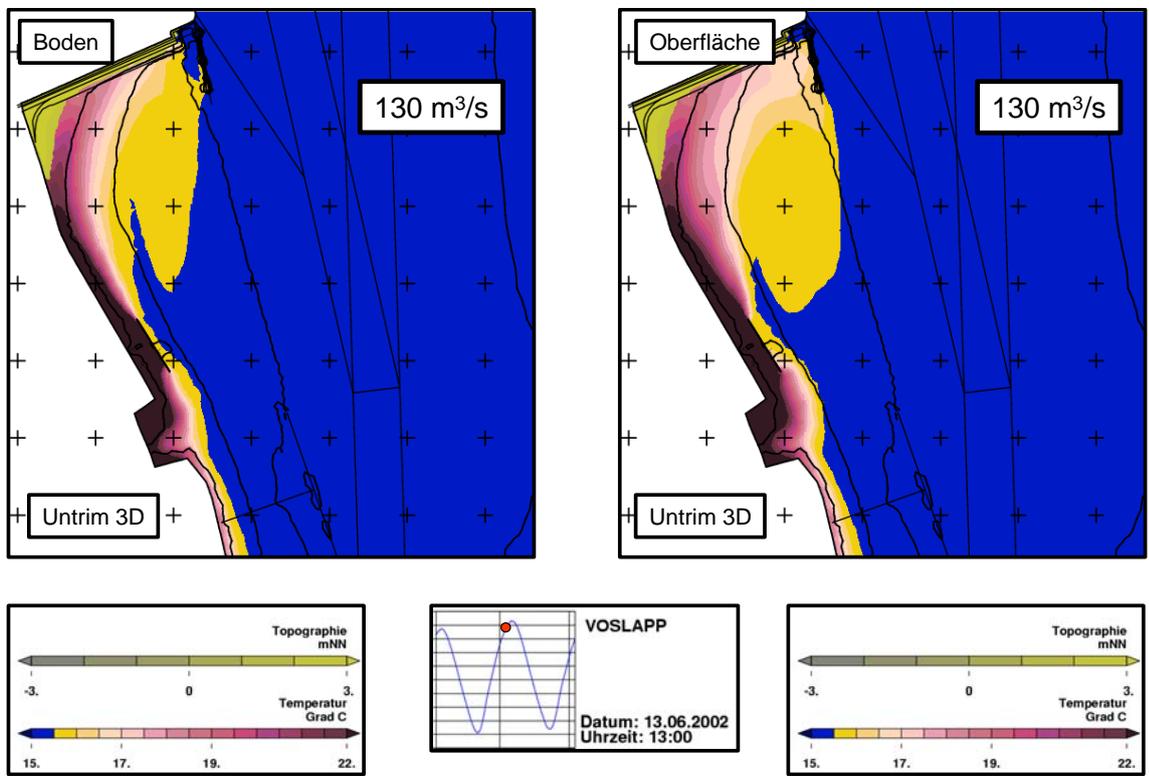


Abb. 52. Wassertemperaturen in der Boden- und der Oberflächenschicht für den Ausbauzustand. Simulationszeitpunkt: 13.06.2002 13:00 Uhr

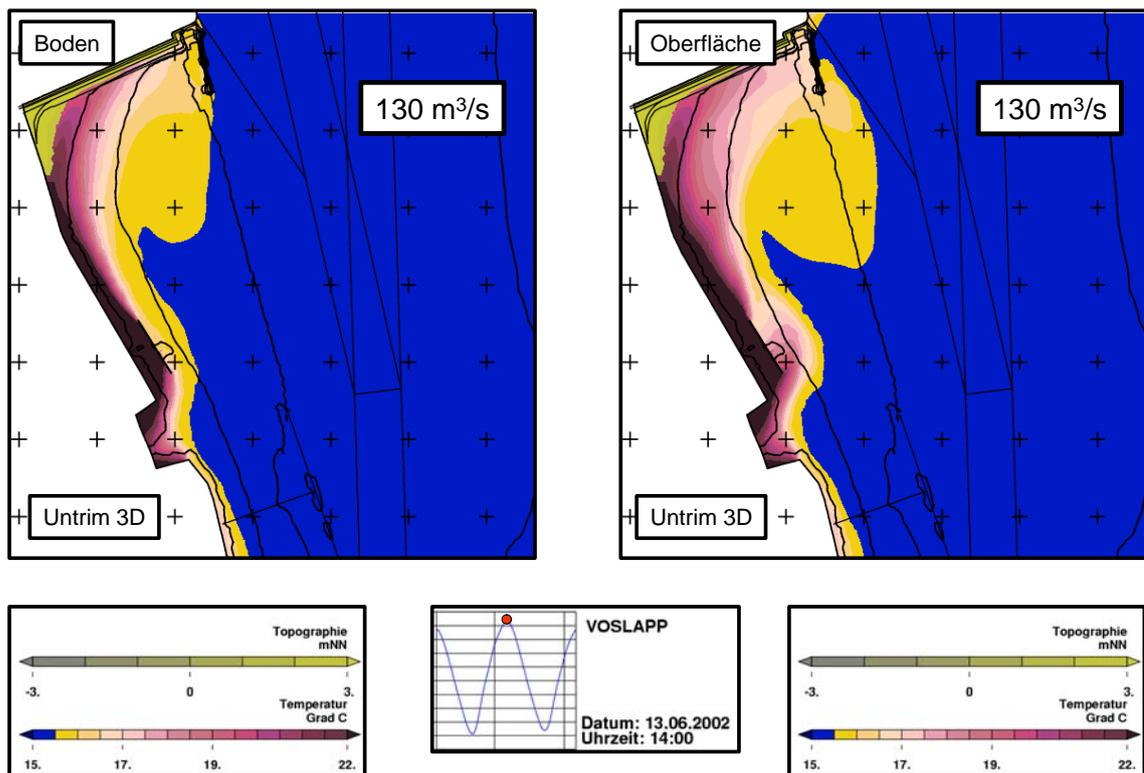


Abb. 53. Wassertemperaturen in der Boden- und der Oberflächenschicht für den Ausbauzustand. Simulationszeitpunkt: 13.06.2002 14:00 Uhr

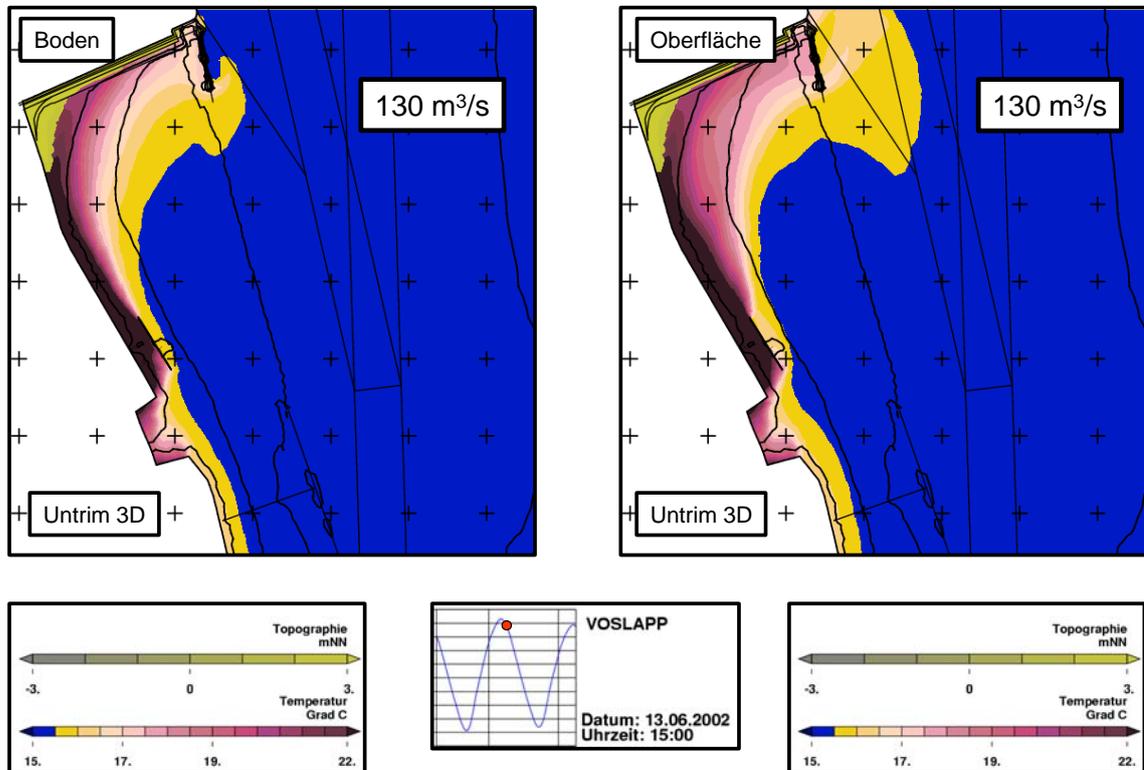


Abb. 54. Wassertemperaturen in der Boden- und der Oberflächenschicht für den Ausbauzustand. Simulationszeitpunkt: 13.06.2002 15:00 Uhr

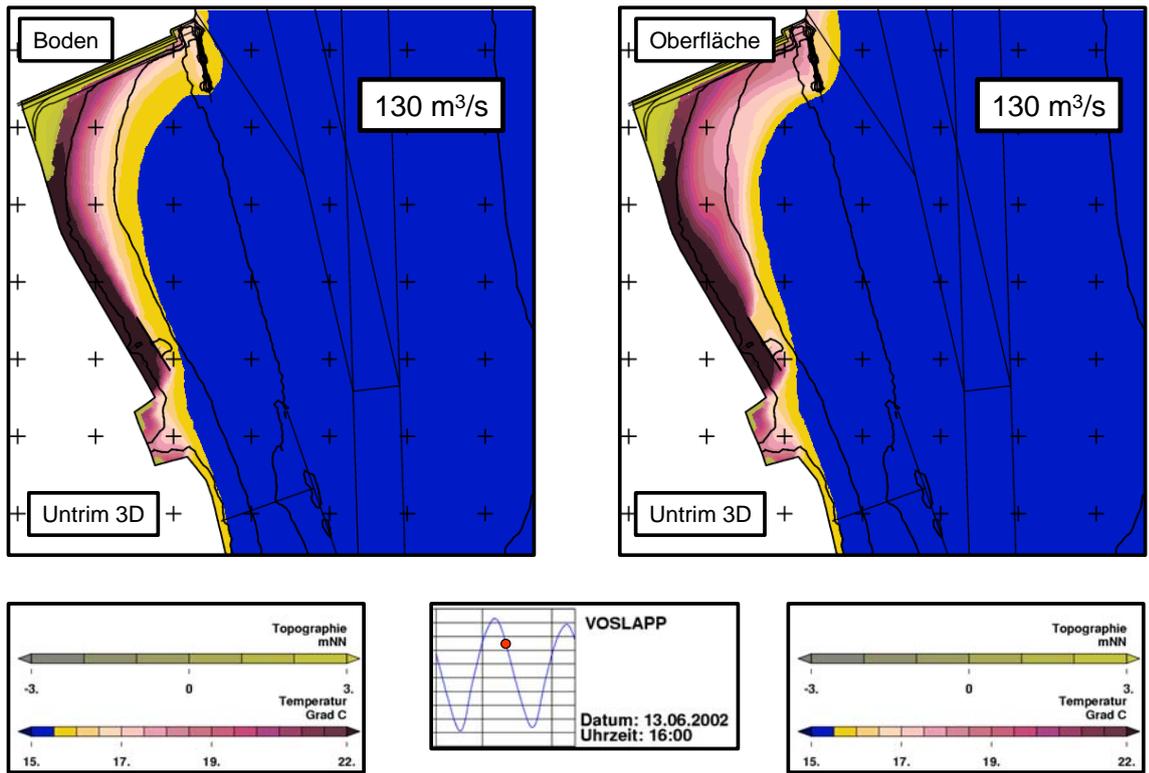


Abb. 55. Wassertemperaturen in der Boden- und der Oberflächenschicht für den Ausbauzustand. Simulationszeitpunkt: 13.06.2002 16:00 Uhr

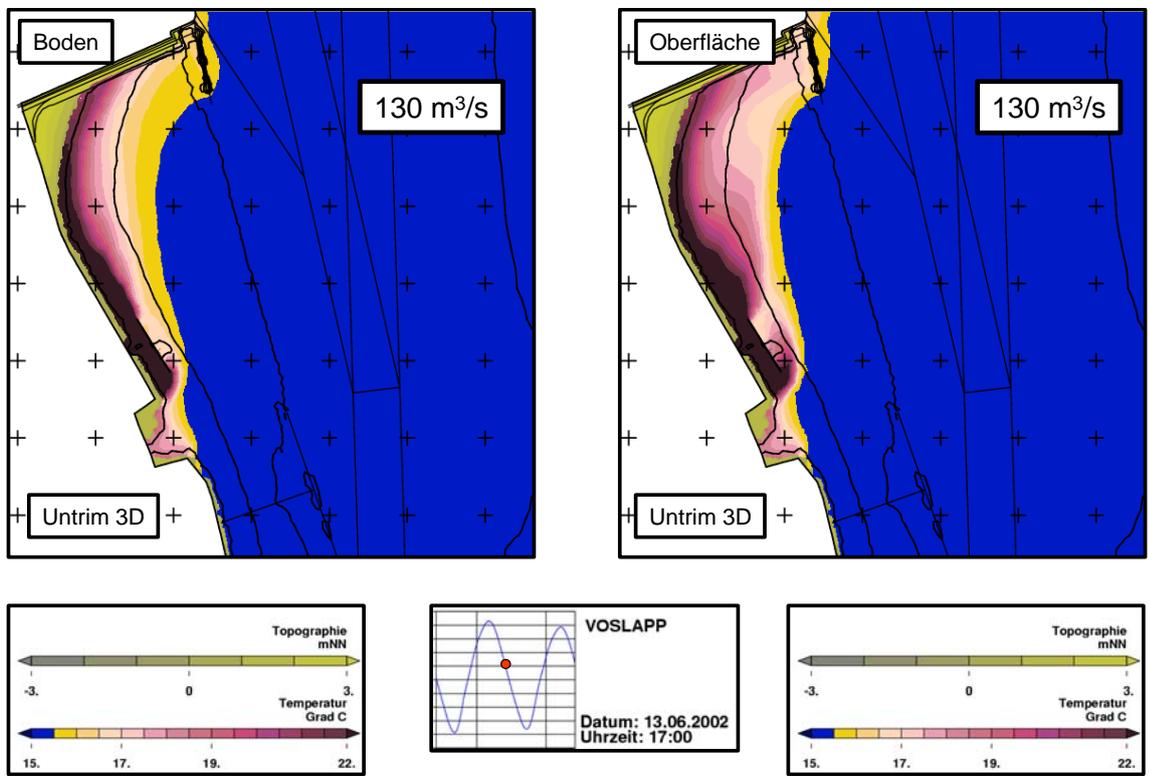


Abb. 56. Wassertemperaturen in der Boden- und der Oberflächenschicht für den Ausbauzustand. Simulationszeitpunkt: 13.06.2002 17:00 Uhr

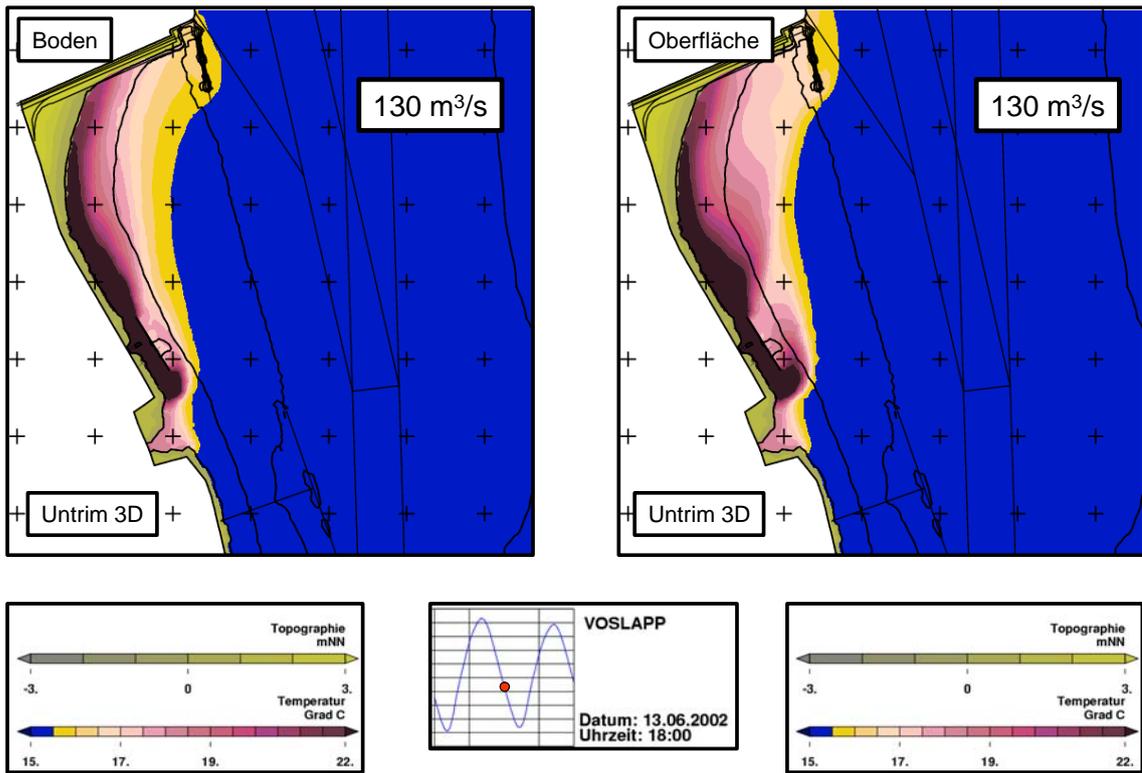


Abb. 57. Wassertemperaturen in der Boden- und der Oberflächenschicht für den Ausbauzustand. Simulationszeitpunkt: 13.06.2002 18:00 Uhr

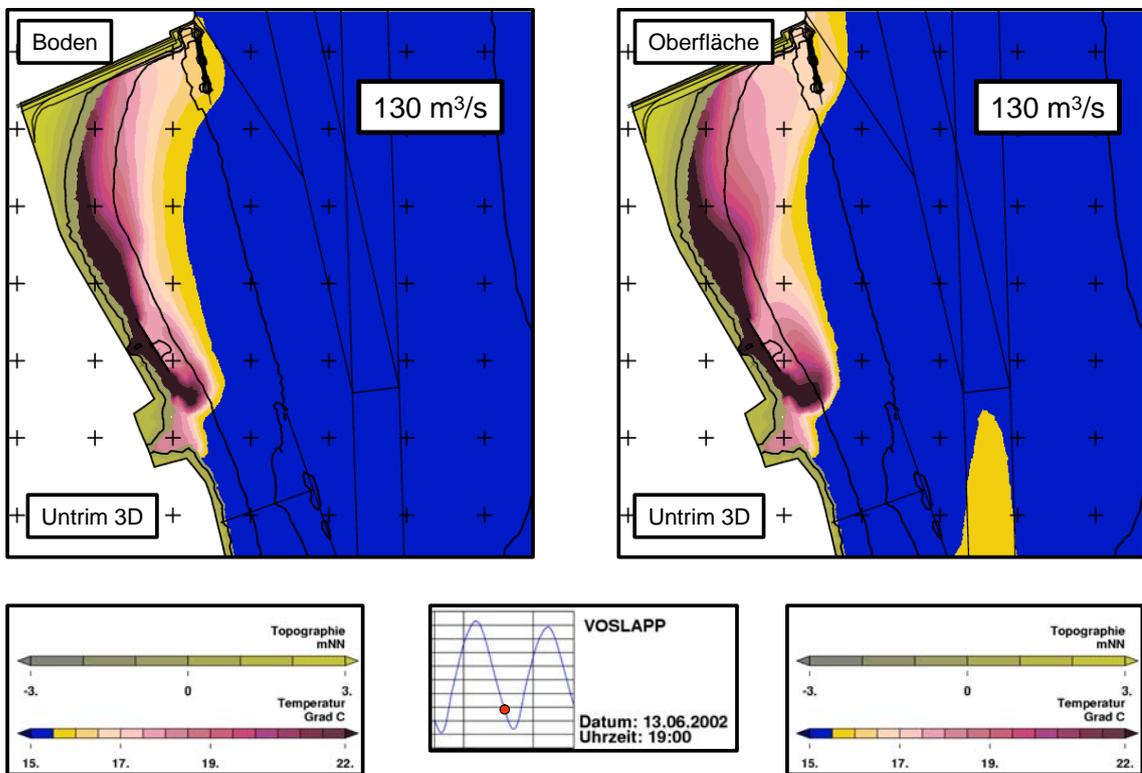


Abb. 58. Wassertemperaturen in der Boden- und der Oberflächenschicht für den Ausbauzustand. Simulationszeitpunkt: 13.06.2002 19:00 Uhr

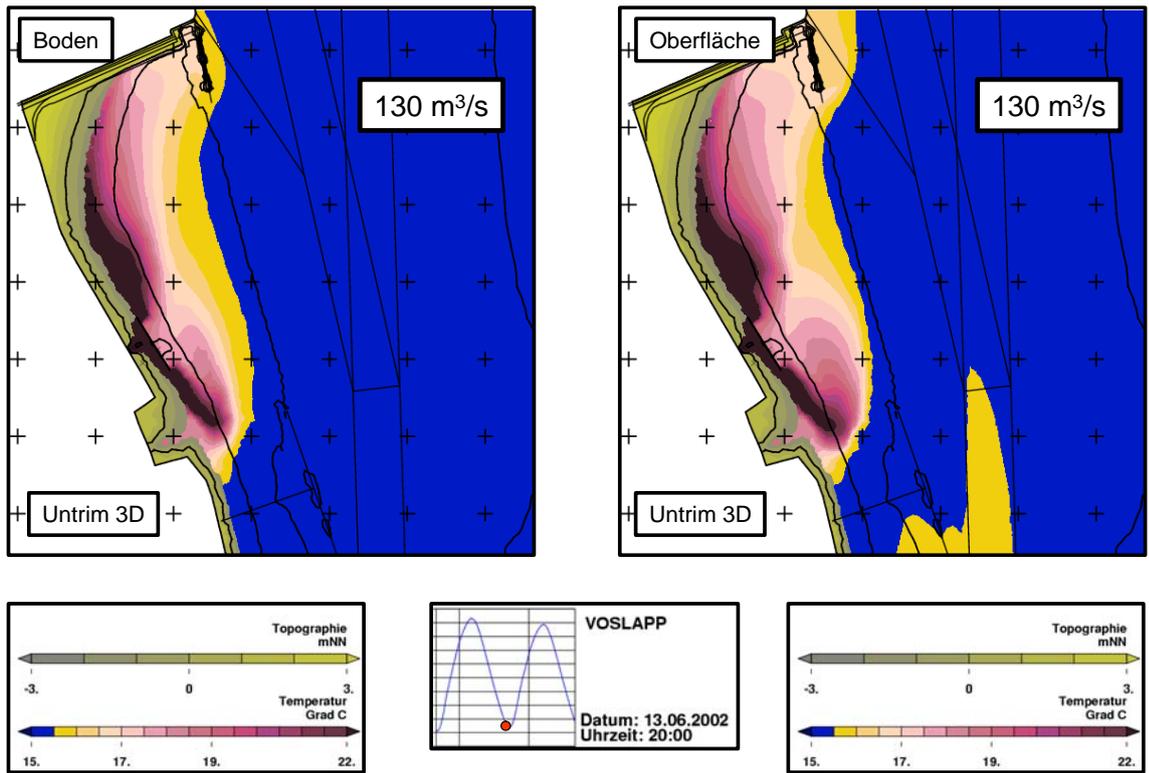


Abb. 59. Wassertemperaturen in der Boden- und der Oberflächenschicht für den Ausbauzustand. Simulationszeitpunkt: 13.06.2002 20:00 Uhr

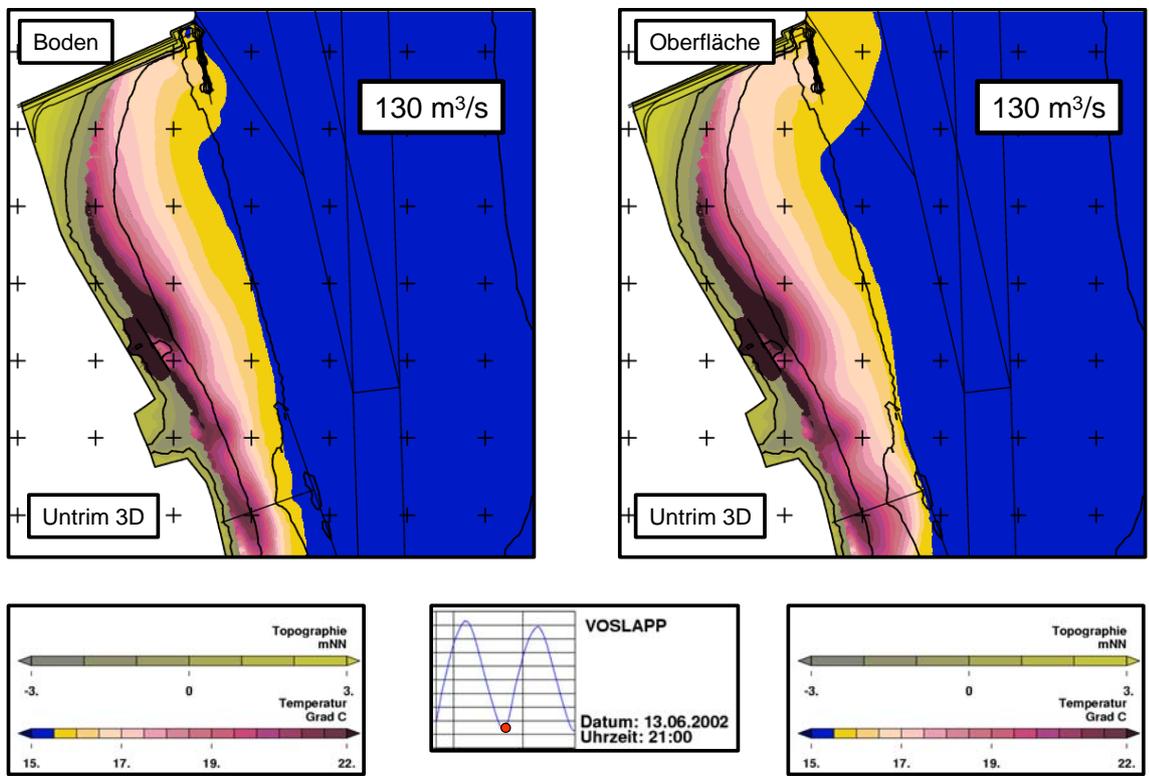


Abb. 60. Wassertemperaturen in der Boden- und der Oberflächenschicht für den Ausbauzustand. Simulationszeitpunkt: 13.06.2002 21:00 Uhr

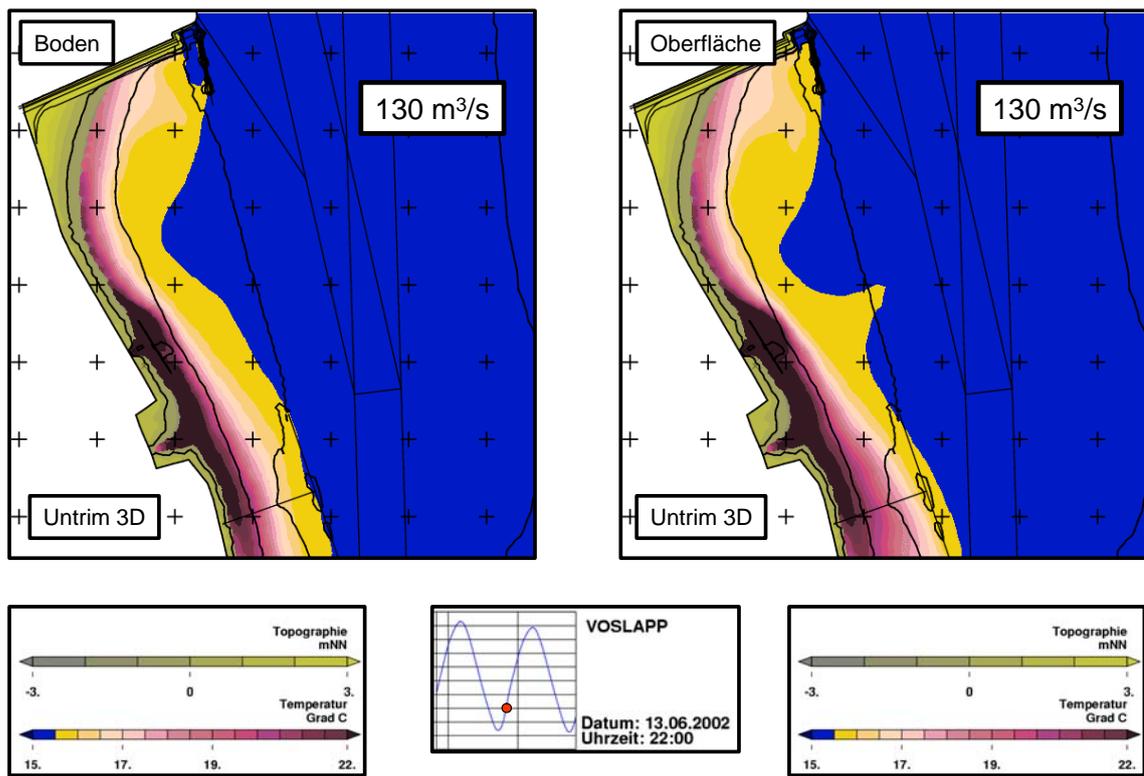


Abb. 61. Wassertemperaturen in der Boden- und der Oberflächenschicht für den Ausbauzustand. Simulationszeitpunkt: 13.06.2002 22:00 Uhr

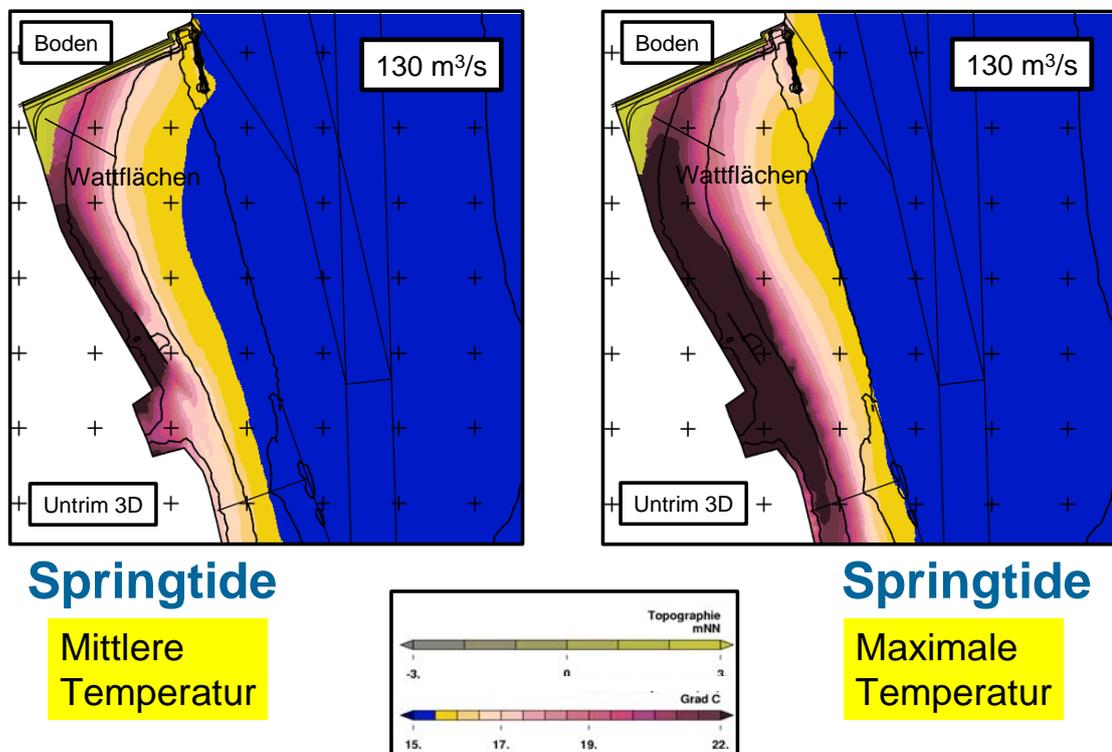


Abb. 62. Mittlere und maximale Wassertemperaturen in der Bodenschicht für Springtideverhältnisse

5.5 Temperaturentwertung an Sondermessstellen

Im folgenden werden Simulationsläufe aus verschiedenen Systemstudien der BAW synthetisch zusammengefasst. Ziel ist es, für bestimmte ausgewählte Positionen in der Innenjade und im Jadebusen den Einfluss verschiedener Randbedingungen auf den Wärmehaushalt der Innenjade und des Jadebusens aufzuzeigen. Auf diese Weise kann die Sensitivität der Temperaturen in Abhängigkeit der eingeleiteten Wärmemenge an den verschiedenen ausgewählten Sondermessstellen besser beurteilt werden. Die ausgewählten Sondermessstellen sind in den Abb. 63 und Abb. 64 dargestellt.

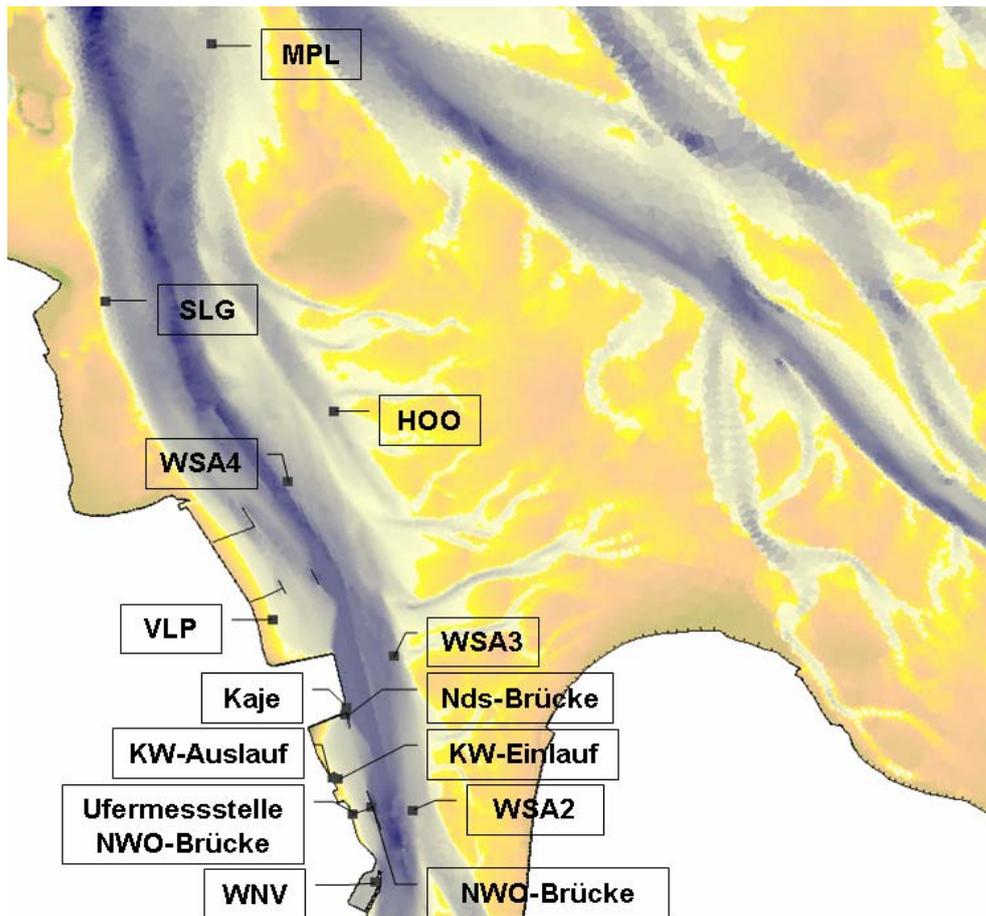


Abb. 63. Sondermessstellen in der Innenjade

Die Untersuchungen an den Sondermessstellen basieren auf Simulationsläufen mit:

- variablen topographischen Randbedingungen (Ausbauzustand, angenommener langfristiger morphologischer Systemzustand),
- variablen Tideverhältnissen (Spring- und Nipptideverhältnisse),
- variablen Kühlwasserrandbedingungen (verschiedene Positionen für Kühlwassereinleitung und –entnahme, verschiedene Aufwärmspannen)
- Untersuchungen mit und ohne Verbau der Niedersachsenbrücke
- Untersuchungen mit und ohne Sandentnahmegruben
- Untersuchungen mit und ohne küstenparalleler Prallwand

- Untersuchungen mit und ohne Atmosphären austausch

Aufgrund der sehr heterogenen Randbedingungen zeigen Abb. 65 sowie die Abbildungen in Anlage A das Spektrum möglicher Temperaturerhöhungen in Abhängigkeit der eingeleiteten Wärmemenge für die verschiedenen Sondermessstellen. Die möglichen Temperaturerhöhungen sind u.a. abhängig von

- der eingeleiteten Wärmemenge
- dem Topographiezustand von Innenjade und Jadebusen
- dem Betriebszustand der Kraftwerke
- der Lage der Kühlwasserrückgabebauwerke
- der konstruktiven Gestaltung der Kühlwasserrückgabe
- dem Atmosphären austausch

Abb. 65 zeigt exemplarisch die mittleren Wassertemperaturen in Abhängigkeit der eingeleiteten Wärmemenge an der Sondermessstation Kaje JadeWeserPort.

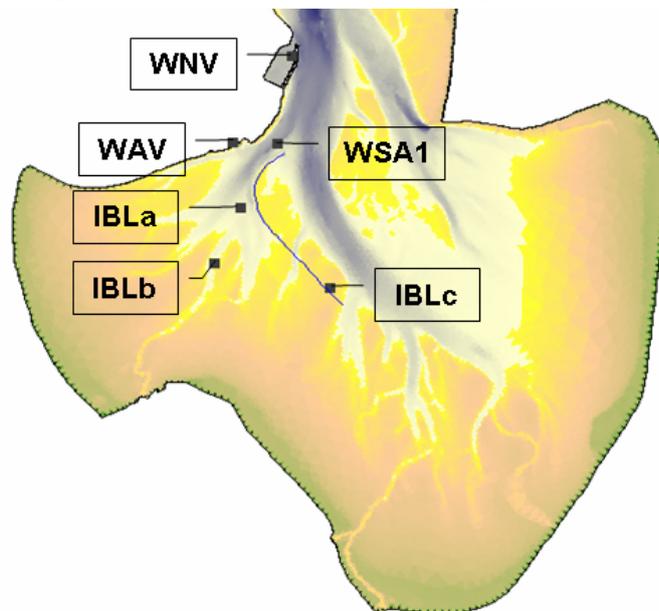


Abb. 64. Sondermessstellen im Jadebusen

In Abb. 65 ist die mittlere Wassertemperatur ohne Kühlwassereinleitung (Abwärme = 0 MW; mittlere Wassertemperatur 15 °C) als Nullpunkt dargestellt. Die mittlere Wassertemperatur steigt dann mit zunehmender Wärmeeinleitung an. Die Zunahme der mittleren Wassertemperatur hängt weiterhin von der Position der Einleitung sowie vom untersuchten topographischen Systemzustand ab. Gleiche topographische Randbedingungen (z.B. Ausbauzustand, angenommener langfristiger morphologischer Systemzustand) wurden mit gleichen Symbolen dargestellt. Nicht untersuchte Wärmeeinleitungen können durch lineare Interpolation zwischen gleichen Symbolen abgeschätzt werden. Eine Extrapolation für höhere Wärmemengen oder für eine Kühlwasserrückgabe außerhalb des Bereichs zwischen derzeitigem

E.ON-Rückgabebauwerk und Südflanke des JadeWeserPorts ist u.a. aufgrund des hochvariablen strömungsbedingten advektiven Transports des Kühlwassers nicht zulässig.

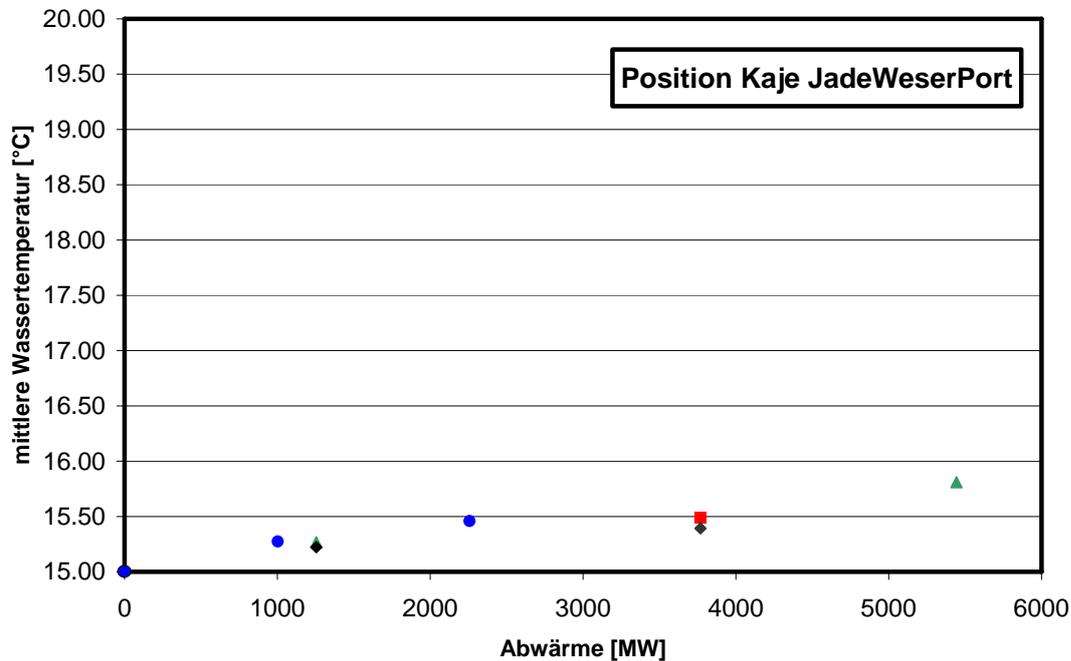


Abb. 65. Auswertung der mittleren Wassertemperaturen an der Position Kaje JadeWeserPort

Es kann weiterhin gezeigt werden, dass die o.a. Faktoren insbesondere zwischen 4. Einfahrt und JadeWeserPort von Bedeutung sind. Südlich der 4. Einfahrt ist der Einfluss unterschiedlicher topographischer Randbedingungen sowie unterschiedlicher Kühlwasserrückgabepositionen gering und die Bandbreite möglicher Kühlwassererhöhungen ist unterhalb der Prognosegenauigkeit von rd. 0,5 K. Beispielhaft wird das hier anhand der maximalen Wassertemperaturen an der Sondermessstelle NWO-Brücke dargestellt (Abb. 66).

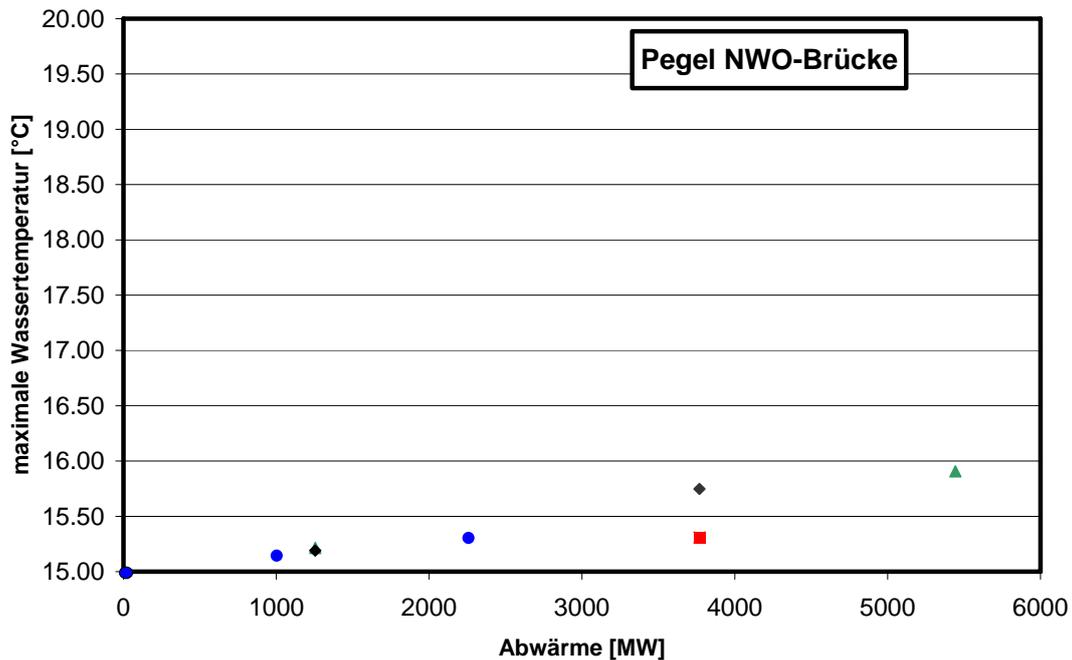


Abb. 66. Auswertung der maximalen Wassertemperaturen an der Position NWO-Brücke (Ufermessstelle)

Die Bedeutung der Untersuchungen an den Sondermessstellen ist insbesondere unter dem Aspekt der noch vorhandenen Unsicherheiten in den derzeitigen Planungen für die Erweiterung des Kraftwerkstandorts Wilhelmshaven zu sehen. Folgende Planungen waren zum Zeitpunkt der Untersuchungen noch nicht abgeschlossen:

- Standorte für die Kühlwasserentnahme- und -rückgabebauwerke
- Erforderliche Kühlwasserentnahmemengen je Kühlwasserentnahmestandort
- Erforderliche Aufwärmung des Kühlwassers je Kühlwasserrückgabebauwerk
- Verbaugrad der Niedersachsenbrücke (Annahme: Totalverbau mit 90 m Lücke zwischen Umschlagbrücke und Südflanke des JadeWeserPort)

Für die vorliegende Untersuchung mussten daher hinsichtlich dieser Planungen Annahmen getroffen werden. Darüber hinaus musste eine weitere Annahme zur

- langfristigen Aufsedimentation im Bereich JadeWeserPort, Niedersachsenbrücke, NWO-Brücke

getroffen werden.

Aufgrund dieser Unsicherheiten in den Planungen der verschiedenen Kraftwerksbetreiber musste die Anzahl der untersuchten Szenarien beschränkt werden. Interpolationen können für andere Wärmemengen aufgrund der Untersuchungen an den Sondermessstellen durchgeführt werden. Zusätzliche Simulationsläufe würden daher zum momentanen Zeitpunkt nur einen scheinbaren Erkenntniszugewinn ergeben. Es wird allerdings empfohlen, nach Abschluss der Vorplanungen weitere Simulationsläufe mit den tatsächlichen Kühlwasserrand-



bedingungen als Grundlage für eine Ausführungsplanung zur Reduktion einer gegenseitigen Beeinflussung der Kühlwasserbauwerke durchzuführen.

6 Schlussfolgerungen und Empfehlungen

Die Kühlwassersimulationsergebnisse zeigen, dass es aufgrund einer Erhöhung der Kühlwasserrückgabemenge insbesondere südlich des JadeWeserPort bis in den Jadebusen hinein zu einer Erhöhung der Wärmebelastung der Innenjade kommt. Durch die Erhöhung der Kühlwasserrückgabemenge nimmt die in die Jade eingeleitete Kraftwerksabwärme von 1255 MJ/s für 30 m³/s auf 5443 MJ/s für 130 m³/s zu. Aufgrund der Reduktion der Strömungsgeschwindigkeiten sowie der Ausbildung einer temporären Strömungswalze südlich des JadeWeserPort ist die Ausbreitung der Kühlwasserfahne nach Norden behindert und ein Großteil der Abwärme verbleibt zwischen NWO-Brücke und Südflanke des JadeWeserPort. Dadurch kommt es ufernah zu einer Erhöhung der Wassertemperaturen von bis zu 8 K sowie zu einer Verbreiterung der Kühlwasserfahne von rd. 500 m im Referenz-Zustand auf mehr als 1000 m nach Erhöhung der Kühlwassermenge. Gleichzeitig zeigen die Simulationsergebnisse bei Flutströmung einen Wärmeeintrag in den Jadebusen und eine Erhöhung der Wassertemperaturen im Bereich Bordumer Watt, Sander Watt und Stenkentief von bis zu 1 K.

Um die möglichen Temperaturerhöhungen in den verschiedenen Bereichen der Innenjade und des Jadebusens für verschiedene untersuchte Kühlwasserszenarien besser vergleichen zu können, wurden Sondermessstellen für die Ermittlung mittlerer und maximaler tiefenge-mittelter Wassertemperaturen in Abhängigkeit der eingeleiteten Abwärme eingerichtet. Diese Sondermessstellen ermöglichen eine bessere Vergleichbarkeit der Untersuchungsergebnisse und eine Interpolation für nicht untersuchte Abwärmemengen.

Die vorliegenden Untersuchungen wurden im Sinne einer Potenzialanalyse als Machbarkeitsstudie durchgeführt. Zu beachten ist, dass zum Zeitpunkt der Untersuchungen folgende Planungen noch nicht abgeschlossen waren:

- Standorte für die Kühlwasserentnahme- und –rückgabebauwerke
- Erforderliche Kühlwasserentnahmemengen je Kühlwasserentnahmestandort
- Erforderliche Aufwärmung des Kühlwassers je Kühlwasserrückgabebauwerk
- Verbaugrad der Niedersachsenbrücke (Annahme: Totalverbau mit 90 m Lücke zwischen Umschlagbrücke und Südflanke des JadeWeserPort)

Für die vorliegende Untersuchung mussten daher hinsichtlich dieser Planungen Annahmen getroffen werden. Darüber hinaus musste eine weitere Annahme zur

- langfristigen Aufsedimentation im Bereich JadeWeserPort, Niedersachsenbrücke, NWO-Brücke

getroffen werden.



Die in die vorliegende Untersuchung eingeflossenen Annahmen nehmen direkt Einfluss auf die Kühlwasserausbreitung in der Jade. In Abhängigkeit der zukünftigen Ausführungsplanung der Kraftwerkserweiterungen muss daher bei der Interpretation der vorliegenden Rechenergebnisse beachtet werden, dass örtlich insbesondere im näheren Umfeld zukünftiger Entnahme- und Rückgabebauwerke höhere Wassertemperaturen als im vorliegenden Gutachten dargestellt auftreten können. Eine nennenswert größere Ausdehnung der Kühlwasserfahne nach Süden oder Norden wird jedoch aufgrund der intensiven Vermischungsprozesse und der langen Mischungswege nicht erwartet. Ebenso wird eine nennenswert weitere Ausdehnung der Kühlwasserfahne nach Osten aufgrund der Vermischungsprozesse im tiefen Jadefahrwasser nicht erwartet. Aufgrund der konzentrierten Rückgabe des Kühlwassers am derzeitigen Standort des E.ON-Rückgabebauwerks liegen die ermittelten Wassertemperaturen dort ufernah auf der sicheren Seite. Präzisere Angaben können im Rahmen der vorliegenden Machbarkeitsstudie aufgrund der erforderlichen Annahmen nicht erfolgen.

Es wird empfohlen, für die Genehmigungs- und Ausführungsplanungen konkreter Kraftwerkserweiterungen im Rahmen eines Planfeststellungsverfahrens Detailuntersuchungen mit einem hochauflösenden 3D-HN-Modell zur Ausbreitung des Kühlwassers in der Jade durchzuführen.

Bundesanstalt für Wasserbau – Dienststelle Hamburg
Hamburg, 19.07.2007

Im Auftrag

Bearbeiter

[gez. Rahlf]

[gez. Schüttrumpf]

Dipl.-Ing. H. Rahlf

Dr.-Ing. H. Schüttrumpf



7 Literaturverzeichnis

- BAW JadeWeserPort – Untersuchungen zur hydraulischen Wirkungsweise des JadeWeserPorts auf die Tidedynamik. Gutachten. 2003a
- BAW JadeWeserPort – Untersuchungen zum Einfluss des JadeWeserPorts auf die Morphodynamik der Jade. 2003b
- BAW JadeWeserPort – Untersuchungen zur Kühlwasserausbreitung des Kraftwerks Wilhelmshaven. 2003c
- BAW JadeWeserPort – Ergänzende Untersuchungen zur Kühlwasserausbreitung des Kraftwerks Wilhelmshaven. 2004a
- BAW Planfeststellungsverfahren JadeWeserPort – Ergänzende Stellungnahme zur Ermittlung ausbaubedingter Wirkungen auf die Kühlwasserausbreitung. 2004b
- BAW JadeWeserPort - Untersuchungen zur Wirkung einer uferparallelen Prallwand auf die Kühlwasserausbreitung des Kraftwerks Wilhelmshaven. BAW 2005a
- BAW Planfeststellungsverfahren JadeWeserPort – Untersuchung zum Verbau der Niedersachsenbrücke auf die Tidedynamik und die Morphodynamik der Jade nach Bau des JadeWeserPorts. BAW-Stellungnahme vom 27.06.2005. 2005a
- BAW Planfeststellungsverfahren JadeWeserPort – Verlegung des Kühlwasserentnahmebauwerks zur langfristigen Sicherung des Standorts Wilhelmshaven. 2006
- BROCKMANN Temperaturfernerkundung Jade/Jadebusen – Abschlussbericht. Brockmann Consult 2002
- CASULLI, V., An unstructured grid, three-dimensional model based on the
WALTERS, R shallow water equations; International Journal for Numerical Methods in Fluids; Vol. 32; No. 3; S. 331-348; 2000
- KUNZ Wärmeeinleitung in Tidegewässer und deren Begrenzung durch fachtechnische Behördenentscheidungen. Mitteilungen des Franzius-Instituts. H. 81. 1998



VISSCHER Bericht über Temperaturmessungen in der Jade – August bis November 2002;
Oktober 1993 bis September 1994. Ingenieurbüro Visscher. März 2003

VISSCHER Bericht über Beweissicherungsmessungen für den JadeWeserPort vom 11.5.
bis 15.8.2004. Ingenieurbüro Visscher. August 2004