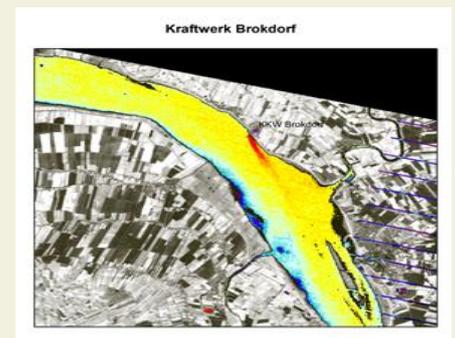
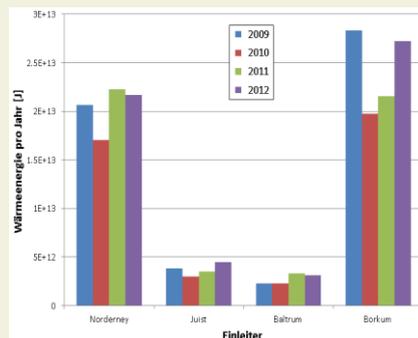


ENTWICKLUNG EINES ANSATZES ZUR ERFASSUNG UND BEWERTUNG VON WÄRMEEINTRAG IN DAS NIEDERSÄCHSISCHE KÜSTENGEWÄSSER



Abschlussbericht

Brockmann Consult GmbH:

Dr. Uwe Lange, Kerstin Stelzer

Unter Mitarbeit von:

Dr. Karin Heyer

28.11.2014

Dieser Bericht ist durch den Niedersächsischen Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz beauftragt worden. Die Verantwortung für den Inhalt liegt allein bei den Autoren. Der Bericht gibt die Auffassung der Autoren wieder und muss nicht mit der Meinung des NLWKN übereinstimmen. Der NLWKN übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit, die Genauigkeit und Vollständigkeit der Angaben sowie für die Beachtung der Rechte Dritter.

Der Auftraggeber behält sich alle Rechte vor, insbesondere darf dieser Bericht nur mit seiner Zustimmung ganz oder teilweise vervielfältigt bzw. Dritten zugänglich gemacht werden.

Verwendete Satellitendaten:

Landsat-5, Landsat-7, Landsat-8 © USGS

(A)ATSR (c) ESA

Brockmann Consult GmbH

Max-Planck-Str. 2

21502 Geesthacht



Dr. Karin Heyer

Krähenhorst 9

22587 Hamburg

Erstellt in Zusammenarbeit mit dem
Nationalpark Niedersächsisches Wattenmeer.



Zitiervorschlag:

Lange, U; Heyer, K.; Stelzer, K. (2014). Entwicklung eines Ansatzes zur Erfassung und Bewertung von Wärmeeintrag in das Niedersächsische Küstengewässer. Bericht erstellt im Auftrag des NLWKN. 235 S.

Inhaltsverzeichnis

Tabellenverzeichnis	7
Abbildungsverzeichnis	11
Glossar	16
1 Einführung	19
1.1 Ziel der Studie	19
1.2 Vorgehensweise	20
2 Verwendete Daten	21
2.1 Kühlwasser-Einleiter und Wärmeeinträge	22
2.2 Wassertemperatur	32
2.2.1 Zeitreihen	32
2.2.2 Profile	35
2.2.3 Flächenhafte Temperaturdaten aus der Fernerkundung	36
2.2.4 Flächenhafte Daten aus der hydrodynamisch-numerischen Modellierung	37
2.3 Zeitreihen zum Abfluss von Ems, Weser und Elbe	38
2.4 Weitere Datenquellen	39
2.4.1 Gewässerdaten der Elbe	39
2.4.2 Gewässerdaten der Weser	40
3 Methoden zur Validierung, Plausibilisierung und Analyse der Daten	41
3.1 Allgemeine Datenaufbereitung	41
3.1.1 Datenaufbereitung in der Datenbank	41
3.1.2 Datenaufbereitung mit einem GIS-Programm (ArcGIS-ArcView)	42
3.2 Berechnung der eingeleiteten Wärmeenergie	43
3.3 Aufbereitung der Fernerkundungsdaten	48
3.3.1 Herleitung der Temperatur	48
3.3.2 Validierung und Plausibilitätsprüfung der FE-Daten	49
3.4 Darstellung der Daten und Analyseergebnisse	53
4 Ergebnisse	55
4.1 Wärmeeinträge	55
4.2 Natürliche Wassertemperaturen in Küsten- und Übergangsgewässern	62
4.2.1 Zeitliche Variabilität der Wassertemperatur	62
4.2.2 Räumliche Variabilität der Temperaturverteilung	69
4.3 Ausdehnung von Wärmefahnen	70



4.3.1	Ausdehnung der Wärmefahne in der Jade	71
4.3.2	Ausdehnung der Wärmefahne in der Weser	75
4.3.3	Ausdehnung der Wärmefahnen in der Elbe	92
4.3.4	Erfassung der räumlichen Variabilität mit Fernerkundungsdaten	95
5	Biologische Effekte der Wärmezufuhr	98
5.1	Effekte von Temperaturerhöhungen auf Organismen	99
5.1.1	Vorbemerkungen zu den Bestimmungen von Temperaturtoleranzen und Letaltemperaturen von Organismen.....	99
5.1.2	Effekte der Erhöhung der Wassertemperaturen auf einzelne für die niedersächsischen Übergangs- und Küstengewässer typischen Arten	102
5.2	Einfluss von Erwärmung auf die Einwanderung von fremden Arten (NIS).....	114
5.3	Beispiele für Auswirkungen der Temperaturerhöhung durch Klimaerwärmung	116
5.4	Fallbeispiele.....	117
5.4.1	Wärmeeintrag durch die Kühlwassereinleitung von Kraftwerken.....	117
5.4.2	Wärmezufuhr durch Unterseekabel	121
5.5	Ableitung von Grenzwerten	124
6	Bestehende Richtlinien, Bewertungsansätze und Grenzwerte.....	129
6.1	Richtlinien	129
6.1.1	WRRL (RL 2000/60 EG).....	129
6.1.2	MSRL (RL 2008/56/EG)	129
6.2	Nationale Bewertungsansätze und Grenzwerte	131
6.3	Internationale Bewertungsansätze und Grenzwerte	132
7	Bewertungskriterien.....	137
7.1	Temperaturgrenzwerte.....	137
7.1.1	Mischungszone	138
7.1.2	Absolutes Temperaturmaximum.....	139
7.1.3	Maximale Temperaturerhöhung (ΔT).....	141
7.1.4	Messorte.....	142
7.1.5	Messtiefe.....	143
7.2	Durchgängigkeit von Fließgewässern und Meeresbuchten	144
8	Monitoring- und Bewertungskonzept	147
8.1	Monitoring.....	147
8.1.1	Messgrößen.....	147
8.1.2	Messorte.....	147
8.1.3	Messtiefe.....	148



8.1.4	Messzeitpunkt und –frequenz.....	148
8.2	Bewertungskriterien	149
8.2.1	Temperaturgrenzwerte.....	149
8.2.2	Durchgängigkeit	149
8.2.3	Toleranz.....	150
8.3	Besonderheiten in Küstengewässern und Meeresbuchten.....	150
8.4	Bewertungsschema.....	151
8.4.1	Überwachung.....	151
8.4.2	Datenauswertung	151
8.4.3	Bewertung.....	152
9	Test des Bewertungsverfahrens durch Anwendung auf das Untersuchungsgebiet	155
9.1	Erfüllung der Monitoring-Anforderungen.....	155
9.2	Praxistest	157
9.2.1	Bewertung der KKV-Einleitung.....	157
9.2.2	Bewertung der Wasserkörper	158
10	Diskussion	163
10.1	Bewertung der niedersächsischen Küstengewässer	163
10.1.1	Bewertung nach WRRL	163
10.1.2	Bewertung nach MSRL.....	164
10.1.3	Bewertung im Rahmen dieser Studie	164
10.1.4	Auswirkungen durch Seekabel.....	165
10.1.5	Auswirkungen auf eingewanderte Arten (NIS).....	165
10.1.6	Prognose.....	165
10.2	Bewertungskonzept.....	166
10.3	Monitoringmessnetz.....	168
10.4	Fernerkundung zum Zwecke des Wärmemonitorings	170
11	Literaturverzeichnis.....	172
12	Anhang	184
12.1	Wärmeeinträge	184
12.1.1	Liste aller Wärmeeinleiter und deren Einleitungen.....	184
12.1.2	Angaben zu Wärmeeinleitungen in Bremen (Genehmigungen der Umweltbehörde)....	190
12.1.3	Positionen und Größe der Einträge (logarithmische Darstellung)	192
12.1.4	Balkendiagramme für Wärmeeinträge in die Wasserkörper (2009-2012)	194
12.2	Zeitreihen der Wassertemperatur	200
12.2.1	Zeitreihen der Wassertemperatur im Küstenbereich.....	200



12.2.2	Zeitreihen der Wassertemperatur in der Ems.....	202
12.2.3	Zeitreihen der Wassertemperatur in der Weser.....	203
12.2.4	Zeitreihen der Wassertemperatur in der Elbe	206
12.3	Landsat-Aufnahmen mit Ausschnitten für ausgewählte Kraftwerke	208
12.3.1	EON-Kraftwerk Wilhelmshaven (Jadebusen).....	208
12.3.2	Kernkraftwerk Unterweser	213
12.3.3	Kraftwerk Brokdorf.....	215
12.4	Wassertemperatur und biologische Effekte bei Fischen	217

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Datensätze zu Wärmeeinträgen, Wassertemperaturen und Abflüssen, die für diese Studie verwendet wurden.	21
Tab. 2: Informationen über Wärmeeinleitungen in die niedersächsischen Küsten- und Übergangsgewässer, die im Rahmen dieser Studie verwendet wurden.	27
Tab. 3: Kraftwerke (> 50 MW) im Einzugsgebiet der niedersächsischen Küsten- und Übergangsgewässer (inkl. der beiden Hamburger Kraftwerke in HH-Moorburg und HH-Tiefstack). Quelle: IHK-Nord (2012), Wikipedia (Liste deutscher Kraftwerke) und Webseiten der genannten Energiekonzerne). Kursiv: Kraftwerke die in Betrieb sind, deren Wärmeeinträge jedoch nicht im Rahmen dieser Studie berücksichtigt wurden.	29
Tab. 4: Weitere Kraftwerke (> 50 MW) im Einzugsgebiet der niedersächsischen Küstengewässer, die nicht von den Betreibern aufgeführt werden: Quelle: IHK-Nord (2012).	30
Tab. 5: Zeitserien der Wassertemperatur in Übergangs- und Küstengewässern: Angegeben sind der Messzeitraum und die Messintervalle sowie die Datenoriginatoren.	32
Tab. 6: Wassertemperatur-Profile der Weser: Angegeben sind Zeitpunkt, Messintervalle und die Wassertiefe der Messungen sowie die Datenoriginatoren.	35
Tab. 7: Übersicht der Sensoreigenschaften der Landsat-Sensoren sowie (A)ATSR und MODIS.	37
Tab. 8: Abfluss der Weser und Elbe: Angegeben ist der Messzeitraum, die Messintervalle sowie die Datenoriginatoren.	38
Tab. 9: Umrechnungsfaktoren für Abflussmessungen an den Pegeln der Weser: Zur Abschätzung der Abflüsse an den angegebenen Stationen im Tidebereich der Weser wurden die benutzten Umrechnungsfaktoren zusammengestellt.	38
Tab. 10: Umrechnungsfaktoren für Abflussmessungen an den Pegeln der Elbe: Aufgelistet sind der mittlere Abfluss von Neu Darchau für den Zeitraum 2009 bis 2012 (Daten der WSV) sowie für die Stationen zwischen Bunthaus und Cuxhaven der langjährige mittlere Elbabfluss (IKSE 2005).	38
Tab. 11: Temperaturmessungen in der Elbe: Aufgelistet sind die Messkampagnen der FGG Elbe, im Rahmen derer die Wassertemperatur ca. 1 m unter der Oberfläche gemessen wird (FGG Elbe 2013).	39
Tab. 12: Formeln zur Berechnung der von den Einleitern jährlich in die Gewässer eingetragenen Wärmeenergie. Als Standardformel dient die Formel für die Wärmeenergie ($Q = c * m * T$; wobei $Q =$ Wärmeenergie und $c =$ spezifische Wärmekapazität). Dabei wurde in allen Fällen von einer Dichte des Wassers = 10^6 g / m^3 ausgegangen. Eine salzgehaltsbedingte Erhöhung der Dichte wurde nicht berücksichtigt, da sie zwar einen Einfluss auf die Wärmemenge hat, jedoch für die Zwecke dieser Studie zu geringfügig erschien. Für Kernkraftwerke wird eine Effizienz von 35 und für Kohlekraftwerke eine Effizienz von 45 % (heutiger Stand der Technik) angenommen werden. Außerdem wird davon ausgegangen, dass die Werte für genehmigtes Volumen * maximale Temperaturdifferenz zu insgesamt 80 % ausgenutzt werden.	44
Tab. 13: Jährlich eingeleitete Wärmeenergie der swb-Kraftwerke (2009 – 2012): Angegeben sind die Jahresmittel der Rücklauf-Volumina und der Rücklauf-Temperatur (a) sowie die geschätzte und die vom Betreiber swb angegebene Wärmeenergie (b).	45
Tab. 14: Von den Kernkraftwerken Brokdorf und Unterweser erzeugte Wärmeenergie und die gewonnene elektrische Energie gemäß Nenn-Leistung.	47

Tab. 15: Gewässerabfluss, mittlere jährliche Wärmeeinträge der größten 16 Wärmeeinleitungen mit einer jährlichen Wärmeenergie von $> 10^{14}$ Joule (von 13 Einleitern) und die aus dem Wärmeeintrag resultierende potentielle Temperaturerhöhung unter Berücksichtigung der Abflussrate (zur Bestimmung siehe Text). Für das KK-Unterweser wurde die Berechnung zusätzlich für den Zeitraum 2009 bis 2010 durchgeführt, da das Kraftwerk im April 2011 runtergefahren worden ist und der mittlere Wärmeeintrag für den gesamten Zeitraum nicht repräsentativ für die Betriebsphase ist. Mittlere Abflussdaten für die Elbe nach IKSE (2005) und für die Weser nach Tab. 9.	57
Tab. 16: Maximale Wassertemperaturen und Dauer der Überschreitung der Grenzwerte 23 °C (Stationen im Küstenbereich und im Mündungstrichter) bzw. 25 °C (Fließgewässer oberhalb der Mündungstrichter). Die Angaben berücksichtigen Einzelmessungen oder – bei kontinuierlichen Messungen - Tagesmittelwerte. Die Messungen in der Weser erfolgten in Bodennähe. An allen anderen Stationen handelt es sich um oberflächennahe Messungen. EM: Einzelmessung; kont.: Kontinuierliche Messung. 67	67
Tab. 17: Maximale Wassertemperaturen in den Jahren 2009-2013 an Stationen der Weser (WSA BHV). Die Temperaturen wurden kontinuierlich in Bodennähe gemessen. Standorte siehe Abb. 5.....	69
Tab. 18: Geschätzte Flächen und Kilometerbereiche in den Wasserkörpern Wattenmeer Jadebusen, Übergangsgewässer Weser und Übergangsgewässer Elbe, die von Temperaturerhöhungen $> 0,5$, > 1 und > 2 K betroffen sein können. Nähere Angaben im folgenden Text (Kapitel 4.3.1 bis 4.3.3).....	71
Tab. 19: Größe der beeinträchtigten Flächen nach den BAW Simulationsrechnungen(BAW 2007).	73
Tab. 20: Auswertung der Längsprofile für die Wassertemperatur in der Weser: Dargestellt sind für die Zeit vor und nach der Außerbetriebstellung des Kraftwerkes KKK das Tagesmittel des Wärmeeintrages, die Länge des Abschnittes, in denen die Wassertemperatur die Basislinie um 0,5 K übersteigt, die in diesem Abschnitt gemessene mittlere Temperaturerhöhung in Bezug auf die Basislinie und das Integral des Längsprofils oberhalb der Basislinie.....	87
Tab. 21: Veränderungen im Verhalten der Aalmutter (<i>Zoarces viviparus</i>) auf einen schnellen Temperaturanstieg um 1 °C/min (aus: Zakhartsev et al. 2003); Temperaturwerte sind Mittelwerte (\pm SD(n)) der Daten der Populationen aus Nord- und Ostsee.	100
Tab. 22: Erläuterung der Begriffe, vgl. Abb. 52.....	102
Tab. 23: Thermische Letaltemperaturen von Seegräsern	103
Tab. 24: Letal- und Subletal-Temperaturen einiger Makrophyten (Langford et al. 1998).....	103
Tab. 25: Mortalität des Zooplanktons (in %) infolge der Temperaturerhöhung (aus Haddingh & Janssen-Mommen 2000 zit. aus Krieg et al. 2010).....	105
Tab. 26: Thermische Letaltemperaturen von <i>Mytilus edulis</i> aus verschiedenen geographischen Breiten. WT = Wassertemperatur; LT ₅₀ = Temperatur bei der 50 % der Individuen sterben.....	106
Tab. 27: Thermische Letaltemperaturen von benthischen Organsimen, Blau = Optimum; Jade = Arten sind in der Jade nachgewiesen; NS=Nordsee, MM= Mittelmeer, WM= Wattenmeer, die angegebenen Zahlen geben den Schwankungsbereich aus unterschiedlichen Literaturangaben wieder.	108
Tab. 28: Effekte verschiedener benthischer Arten auf Temperaturerhöhungen	110
Tab. 29: Thermische Letaltemperaturen (ULT, Rot) von adulten Fischen, wenn ein Temperaturbereich angegeben ist, schwankten die Temperaturangaben in der Literatur in diesem Bereich; Graukariert= Laichtemperatur, Grün=Optimum, G = Vorkommen im Gewässer, wobei J= Arten, die in der Jade nachgewiesen wurden und E = Arten aus der Referenzliste für die Brachsen- und Kaulbarsch-Flunder-Region der Tideelbe (nach Gaumert 2006, zitiert in Otto und Zahn 2008, Rosa = Warmwasserarten, Blau = Kaltwasserarten.	112

Tab. 30: Thermische Letaltemperaturen (ULT, Rot) von Fischeiern und –larven, wenn ein Temperaturbereich angegeben ist, schwankten die Temperaturangaben in der Literatur in diesem Bereich; Grün=Optimum, G = Vorkommen im Gewässer, wobei J= Arten, die in der Jade nachgewiesen wurden und E = Arten aus der Referenzliste für die Brachsen- und Kaulbarsch-Flunder-Region der Tideelbe (nach Gaumert 2006, zitiert in Otto und Zahn 2008), Rosa = Warmwasserarten, Blau = Kaltwasserarten.....	113
Tab. 31: NIS und kryptische Arten, die in 2009 und 2010 mit dem Rapid Assessment in Brunsbüttel und Wilhelmshaven entdeckt wurden (modifiziert nach: Buschbaum et al. 2012, Tab.2 und Tab.3), fehlend (-), vorhanden (+) in 2009/ 2010; est = established.	115
Tab. 32: Ermittlung des Grads der Erheblichkeit der Beeinträchtigung (IBL 2008)	119
Tab. 33: Erheblichkeit der Auswirkungen der Kühlwassereinleitung am E.ON Kraftwerk für 5 verschiedene Szenarien auf unterschiedliche Schutzgüter, Teilgebiet 4 ist im direkten Bereich der Kühlwassereinleitung, Teilgebiet 6 im Jadebusen (IBL 2008). ue= unerheblich Auswirkung.....	120
Tab. 34: Übersicht der Erheblichkeit der Beeinträchtigung durch Kühlwasserrückgabe aus IBL 2008. ein Schwellenwert ist erreicht, wenn die angegebene maximale Aufwärmung ΔT [K] oder Temperatur [°C] vorliegt.	125
Tab. 35: Grenzwerte für Wassertemperaturen am Rand der Mischungszone zur Bewertung von Wärmeeinleitungen nach Turnpenny und Liney (2007).	126
Tab. 36: Grenzwerte für Wassertemperaturen am Rand der Mischungszone zur Bewertung von Wärmeeinleitungen nach Turnpenny und Liney (2007).	128
Tab. 37: Grenzwerte für Wärmeeinleitungen in Jadebusen, Weser und Elbe: Angegeben sind Grenzwerte für Jahresvolumen sowie Temperaturerhöhung und maximale Temperatur in der Mischungszone.	132
Tab. 38: Zusammenfassung von thermischen Standards für Kühlwasserabgabe in anderen Ländern im Süßwasser. Q= Quelle; 1= Turnpenny & Liney 2007; 2= Wärmelastplan Elbe 2008; 3= BEEMS 2011.133	
Tab. 39: Zusammenfassung von thermischen Standards für Kühlwasserabgabe in anderen Ländern im Salzwasser.	135
Tab. 40: Zusammenfassung der internationalen Oberflächenwasser Temperaturstandards, aus Turnpenny & Liney 2007	135
Tab. 41: Vorschlag für Grenzwerte der maximalen absoluten Wassertemperatur am Rand der Mischungszone. Die Wertebereiche verstehen sich ausschließlich der angegebenen oberen Grenze.	141
Tab. 42: Vorschlag für die Grenzwerte zur Bewertung der maximalen Temperaturerhöhung. Die Wertebereiche verstehen sich ausschließlich der angegebenen oberen Grenze.	142
Tab. 43 : Vorschlag für die Bewertung von Wärmeeinträgen in Küsten- und Übergangsgewässer im Hinblick auf die Durchgängigkeit.	146
Tab. 44: Matrix für die Ergebnisse des Teilbewertungsergebnisses 1 „Absolute (Misch-) Temperatur am Einleiter“.	151
Tab. 45: Matrix für die Ergebnisse des Teilbewertungsergebnisses 2 „Temperaturerhöhung am Einleiter“.	152
Tab. 46: Matrix für die Gesamtbewertung eines Einleiters aufgrund der Teilbewertungen für „absolute Temperatur im Winter“, „absolute Temperatur im Sommer“ und „Temperaturerhöhung“.	153
Tab. 47: Matrix für die Gesamtbewertung eines Einleiters aufgrund der Teilbewertungen für „absolute Temperatur im Winter“, „absolute Temperatur im Sommer“ und „Temperaturerhöhung“.	153



Tab. 48: Monitoring-Anforderungen für die Bewertung von Wärmeeinleitungen in den Jadebusen sowie in die Übergangsgewässer Weser und Elbe. Für die drei Kraftwerke wird der Status des Monitorings im Hinblick auf die beiden Anforderungen erläutert.....	156
Tab. 49: Teilbewertungsergebnis 1 „Absolute (Misch-) Temperatur am Einleiter“ für die Wärmeeinleitung KKKU.....	157
Tab. 50: Teilbewertungsergebnis 2 „Temperaturerhöhung am Einleiter“ für die Wärmeeinleitung KKKU.	157
Tab. 51: Matrix für das Bewertungsergebnis der Wärmeeinleitung durch das KKKU.....	158
Tab. 52: Die drei größten Wärmeeinleiter im Bereich des niedersächsischen Küsten- und Übergangsgewässer (siehe Tab. 15).	158
Tab. 53: Fälle, in denen im Bereich des KKK-Unterweser in Längsprofilen der Wassertemperatur eine Temperaturerhöhung von mehr als 3 K beobachtet wurde.....	161
Tab. 54: Referenzstandorte zur Messung der Wassertemperatur im Bereich der niedersächsischen Küsten- und Übergangsgewässer.	168
Tab. 55: Anwendungsfälle für Fernerkundungsdaten in den Gewässertypen Küstengewässer, Mündungsgebiete und Fließgewässer.....	171
Tab. 56: Übersicht der Wärmeeinleiter in den niedersächsischen Küsten- und Übergangsgewässern. ...	185
Tab. 57: 15 Wärmeeinleitungen in Bremen. Einleitungen, zu denen keine Koordinaten vorliegen, wurden in dieser Studie nicht berücksichtigt (grau). Quelle: Webseite der Umweltbehörde Bremen über Erlaubte Einleitungen (http://www.umwelt.bremen.de/de/detail.php?gsid=bremen179.c.1746.de).	190
Tab. 58: Jahressummen der Wärmeeinträge pro Wasserkörper für den Zeitraum 2009 bis 2012 [Peta Joule / a].....	199
Tab. 59: Temperaturangaben von Fischarten, die für die Elbe bzw. Jade relevant sind und die entsprechenden Literaturquellen.....	217

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Wasserkörper nach WRRL im Bereich der niedersächsischen Küsten- und Übergangsgewässer sowie die 12 Seemeilenzone und ein Teil der AWZ.	19
Abb. 2: Wärmeeinleitungen im Bereich der niedersächsischen Küsten- und Übergangsgewässer: Dargestellt sind die Orte von 83 Einleitungen (Quelle: niedersächsische Landesdatenbank) zusammen mit den beiden E.ON-Kraftwerken in Brokdorf und an der Weser (beige), 3 von der Umweltbehörde Bremen genehmigte Einleitungen (grün;), 7 Einleitungen durch swb (blau), des E.ON-Kraftwerks in WHV (beige-schwarz) und die Standorte von 5 weiteren Kraftwerken (blau-schwarz). Detaillierte Kartenausschnitte der einzelnen Gewässer enthält Abb. 3.	23
Abb. 3: Wärmeeinleitungen in die niedersächsischen Küsten- und Übergangsgewässer. Zusätzlich zu den Einleitern, von denen Angaben über Wärmeeinleitungen vorliegen, sind 8 Kraftwerke dargestellt, deren Wärmeeinträge in dieser Studie nicht berücksichtigt worden sind. (Quellen: niedersächsische Landesdatenbank (83 Einleiter inkl. zweier E.ON-Kraftwerke), Umweltbehörde Bremen (3 Einleitungsgenehmigungen aus dem Bremer Umwelt-Informationssystem BUISY: http://www.umwelt.bremen.de/de/detail.php?gsid=bremen179.c.1746.de), E.ON (Kraftwerk-WHV) und swb (7 Kraftwerksblöcke, pers. Mitteilung).....	26
Abb. 4: Derzeit in Betrieb befindliche Kraftwerke im Bereich der niedersächsischen Küsten- und Übergangsgewässer (siehe Tab. 3): Dargestellt sind die Betreiber der Kraftwerke (oben) sowie die Leistung (unten).	31
Abb. 5: Pegelstationen im Bereich der niedersächsischen Übergangs- und Küstengewässer (ohne Elbe, hierzu siehe Abb. 6), von denen Temperatur-Zeitreihen vorliegen: Norderney und Spiekeroog (a), Gandersum (b), Küstenbereich Jade und Weser (c), Jadebusen mit Unterweser (d) und Intschede (e). Für die Stationen in der Weser ist jeweils der Monat angegeben, in dem die Zeitreihe begonnen wurde. Grün: Messungen im Bereich der Oberfläche (ca. 1 m); blau: Messungen durch das WSA BHV in Bodennähe (ca. 1 m über Grund).	33
Abb. 6: Pegelstationen in der Elbe von denen Temperatur-Zeitreihen vorliegen: Elbmündung mit Grauerort (a) und Neu Darchau (b)). Anmerkung: Bis 2007 erfolgten die Messungen an der Station Grauerort, wie an den anderen Stationen mit oberflächennahen Messungen, rund 1 m unter der Wasseroberfläche. Seit 2007 erfolgen die Messung bodennah 3m über Grund.....	34
Abb. 7: Bildbeispiele für SST vom AATSR Sensor (links) sowie vom MODIS Sensor (rechts). Aufnahme vom 02.07.2009.....	34
Abb. 8: Querprofile der Wassertemperatur in der Weser: Die Querprofile wurden auf der Höhe der Kühlwassereinleitung durch das Kernkraftwerk Unterweser aufgenommen. Die Messungen erfolgten am 6. und 7.9.2006 (blau) sowie am 21. und 22.11.2006 (violett). Für das Querprofil vom September 2006 fehlt die Position der Messung am linken Ufer, da die exakten Koordinaten nicht bekannt sind.....	35
Abb. 9: Längsprofile der Wassertemperatur in der Weser: Kontinuierliche Oberflächenmessungen erfolgten monatlich von 2008-2012 am linken Rand der Fahrrinne an jedem Flusskilometer im Bereich von 26 bis 80 km.	36
Abb. 10: Beispiele für die Temperaturverteilung in Landsat-Aufnahmen: Dargestellt sind Satellitenbild-Ausschnitte für Landsat 5 (links, 120 m), 7 (mittig, 60 m) und 8 (rechts, 100 m) zu verschiedenen Zeitpunkten.....	37
Abb. 11: Messstellen (rote Kreise) mit physikalisch-chemischen Daten der Unterelbe (FIS der FGG-Elbe: http://www.elbe-datenportal.de).....	39



Abb. 12: ArcView-Dialoge zur Festlegung der Koordinatentransformationen: Dialog für die Umrechnung von Gauß-Krüger 3 (GCS_Deutsches_Hauptdreiecksnetz) nach ETRS-UTM 32 Nord (GCS_ETRS_1989, obere Abbildung) und Dialog für die Umrechnung von WGS84 (GCS_WGS_84) nach ETRS-UTM 32 Nord (untere Abbildung)).....	42
Abb. 13: Jährlich eingeleitete Wärmeenergie der swb-Kraftwerke (2009 – 2012): Dargestellt ist die Wärmeenergie, die über die geschätzte Temperaturdifferenz (= Jahresmittel Rücklauf – geschätztes Jahresmittel für Einlauf von 12 °C) und die jährlichen Rücklauf-Volumina geschätzt wurde (Y-Achse), in Abhängigkeit von den Angaben des Betreibers (X-Achse).....	46
Abb. 14: Zeitserien der Kühlwasser-Temperatur für die beiden Kernkraftwerke Brokdorf und Unterweser (Quelle: E.ON via NLWKN).....	47
Abb. 15: Beispiele für die Temperaturdarstellungen im Jadebusen mit einheitlichen relativen Farbpaletten.....	49
Abb. 16: Vergleich von SST vom Satelliten (rote Quadrate) und in-situ Temperaturmessungen (blaue Rauten) bei der Messstation Spiekeroog.....	50
Abb. 17: Vergleich von SST vom Satelliten (rote Quadrate) und in-situ Temperaturmessungen (blaue Rauten) bei der Messstation Norderney.....	50
Abb. 18: Längsprofil der Wassertemperatur auf seiner Landsat 5-Aufnahme vom 15.10.2009: Dargestellt sind Unterschiede in der Wassertemperatur [K] in Abhängigkeit vom Flusskilometer.....	51
Abb. 19: Längsprofil der Wassertemperatur in der Weser: Dargestellt sind Längsprofile, die zu einem Zeitpunkt aufgenommen wurden, an dem der Wärmeeintrag durch das KK-Unterweser ähnlich hoch war wie zu dem Zeitpunkt der Landsat-Aufnahme am 15.10.2009 (siehe Abb. 16).....	52
Abb. 20: Wärmeeinträge durch das Kernkraftwerk Unterweser: Dargestellt sind Zeitserien der Wärmeeinträge [m ³ / d] für die Jahre 2009 (oben), 2010 (mittig) und 2011 (unten) sowie Satellitenszenen vom 15.10.2009, 27.6.2010 und 11.4.2011. Die betreffenden Zeitpunkte sind in den Diagrammen der Zeitserien markiert.....	54
Abb. 21: Wärmeeinträge in die Wasserkörper der niedersächsischen Küsten- und Übergangsgewässer: Dargestellt sind die Werte für jeden Einleiter und die Jahre von 2009 bis 2012. Doppelnennungen bedeuten, dass der betreffende Einleiter zwei Einleitungsstellen hat (z. B. getrennte Einleitungen für 2 Kraftwerksblöcke).....	56
Abb. 22: Wärmeeinträge in die niedersächsischen Küsten- und Übergangsgewässer in den Jahren 2009 bis 2012. Alle Einleiter mit mehr als 20 Peta Joule pro Jahr sind beschriftet. Die absoluten Wärmeeinträge sind in Anhang Tab. 58 zusammengestellt.....	60
Abb. 23: Wärmeeinträge in die Wasserkörper des niedersächsischen Küsten- und Übergangsgewässer (von oben nach unten: 2009, 2010, 2011 und 2012).	62
Abb. 24: Jahresgänge der Wassertemperatur (oberflächennah): Dargestellt sind die Zeitserien an je einer Station im Küstenbereich (oben), in einem Mündungsgebiet (Mitte) und an einer Station in der Unterweser (unten). Die orangefarbene Linie markiert jeweils den für die betreffende Region gewählten Grenzwert von 23 bzw. 25 °C.....	64
Abb. 25: Jahresgänge der Wassertemperatur in den Küsten- und den Übergangsgewässern: Für den Winter (Januar bis März) und Sommer (Juli bis August) sind die Grenzwerte von 10 °C bzw. 23 und 25 °C als waagerechte orangefarbene Linien markiert.....	67
Abb. 26: Maximale Wassertemperaturen in der Weser: Dargestellt sind die maximalen Jahrestemperaturen an den Dauermessstationen der Weser von Brake bis Leuchtturm Alte Weser für die Jahre 2009 bis 2013. Der Wert für das Jahr 2010 an der Station Leuchtturm_AW wurde nicht dargestellt,	

da die Messreihe an dieser Station im Sommer 2010 genau zum Zeitpunkt des Temperaturmaximums lückenhaft ist.	70
Abb. 27: Ergebnisse der BAW(BAW 2007) zur horizontalen Ausbreitung des Kühlwassers im Jadebusen im Falle einer Abwärmeleistung von 5443 MW. Als Grenze für das erwärmte Wasser wurde eine Temperaturerhöhung von mindestens 0,5 K gewählt (orange). Es ist derjenige Bereich markiert, innerhalb dessen im Laufe einer Tidephase eine Temperaturerhöhung von bis zu 0,5 K auftritt. Es handelt sich also nicht um eine Momentaufnahme.	72
Abb. 28: Satellitentemperaturbild von Jadebusen und Innenjade vom 21.2.2002; 10:16 h (entsprechend 1 h 30 min vor Tideniedrigwasser) (Brockmann Consult, 2002) zur Ausbreitung der Kühlwasserfahne vom Kraftwerk E.ON.	73
Abb. 29: Beeinträchtigte Flächen in Abhängigkeit der Abwärmeleistung auf Grundlage der BAW Simulationsrechnungen. Quelle: IBL 2008.	74
Abb. 30: Vertikale Ausdehnung der Kühlwasserfahne 700 m nördlich des Kühlwasserentnahme-Bauwerks des E.ON Kraftwerks im Herbst 2002.	74
Abb. 31: Ausdehnung verschiedener Wärmebereiche im Umkreis des Kraftwerks in Wilhelmshaven. ...	75
Abb. 32: Querprofile der Wassertemperatur in der Weser: Am 6.9.2006 bei Niedrigwasser (oben) und am 7.9.2006 bei Hochwasser (unten) wurden am Kernkraftwerk-Unterweser Tiefenprofile der Wassertemperatur aufgenommen. (die genauen Positionen der Stationen sind in Abb. 9 dargestellt).	77
Abb. 33: Querprofile der Wassertemperatur in der Weser: Die dargestellten Querprofile der Wassertemperaturen wurden am 21.11.2006 bei Niedrigwasser (oben) und am 22.11.2006 bei Hochwasser (unten) auf der Höhe des Kernkraftwerks-Unterweser aufgenommen (die genauen Positionen der Stationen sind in Abb. 9 dargestellt).	78
Abb. 34: Temperatur-Längsprofile der Weser nach geringen Wärmeeinträgen: Dargestellt sind die 4 Profile mit den geringsten Wärmeeinträgen über die vorangegangenen 10 Tage.	79
Abb. 35: Temperatur-Längsprofile der Weser nach sehr großen Wärmeeinträgen: Dargestellt sind die 4 Profile mit den größten Wärmeeinträgen über die vorangegangenen 10 Tage.	80
Abb. 36: Temperatur-Längsprofil der Weser am 10.3.2009: Diese Aufnahme weist mit 2,5 K den höchsten Peak im Bereich des KKKU auf, der in den vorliegenden Profilen festzustellen war.	81
Abb. 37: Längsprofil der Wassertemperatur in der Unterweser vom 8.1.2009: Die niedrigsten Temperaturwerte am Anfang (< 40 km) und am Ende des Profils (> 70 km) wurden mit einer Linie verbunden, die als Referenzlinie interpretiert wird. Zusätzlich sind die Parallelen dargestellt, die um jeweils 0,5 K, 1 K und 2 K erhöht sind. Die Schnittpunkte mit der Zeitreihe definieren die Bereiche mit einer Temperaturerhöhung von > 0,5 K, 1 K und 2 K.	82
Abb. 38: Ausdehnung der Wärmefahne am 8.1.2009: Dargestellt sind die Abschnitte mit einer Temperaturerhöhung von 0,5 (dunkel violett), 1 (hell violett) und 2 K (rot) im Bereich des KKK-Unterweser.	83
Abb. 39: Längsprofile der Weser: Die Längsprofile weisen im Kilometerbereich von 50 bis 55 km einen eindeutigen Peak auf, der auf das Kühlwasser hindeutet, das vom KKKU eingetragen wurde.	85
Abb. 40: Quantifizierung der Temperatur-Längsprofile in der Weser (Flusskilometer 26 bis 80): Dargestellt ist das Längsprofil vom 8.1.2009. Das Diagramm illustriert das Vorgehen zur Bestimmung des Integrals zwischen der 1 K- Referenzlinie und dem Längsprofil. Für nähere Erläuterungen siehe Text.	86
Abb. 41: Analyse der Längsprofile der Wassertemperatur in der Weser: Dargestellt sind die Integrale für die Temperatur in den Abschnitten, in denen der angenommene Basiswert um mehr als 1 K überschritten	



wird, als Funktion des mittleren Wärmeeintrages der letzten 10 Tage (Volumen * Temperaturdifferenz). Dabei wurde der Kilometerbereich 35 bis 65 berücksichtigt. 87

Abb. 42: Längsprofil der Wassertemperatur in der Weser: Neben den Längsprofilen mit oberflächennahen Messungen (blaue Linien) sind einzelne Messergebnisse aus bodennahen Messungen an den Pegelstationen des WSA BHV dargestellt (blaue Punkte). Die untere orangefarbene Linie stellt die angenommene Basislinie dar und die darüber liegenden dazu parallelen Linien zeigen die Überschreitung der Grenzwerte 0,5, 1,5 und 2 K an. Es sind die Längsprofile mit dem zweit- bis fünftgrößten Wärmeeintrag des KKKU in den vergangenen 10 Tagen (oben) dargestellt. 88

Abb. 43: Längsprofil der Wassertemperatur in der Weser: Neben den Längsprofilen mit oberflächennahen Messungen (blaue Linien) sind einzelne Messergebnisse aus bodennahen Messungen an den Pegelstationen des WSA BHV dargestellt (blaue Punkte). Die untere orangefarbene Linie stellt die angenommene Basislinie dar und die darüber liegenden dazu parallelen Linien zeigen die Überschreitung der Grenzwerte 0,5, 1,5 und 2 K an. Es sind die beiden Extrembeispiele mit dem größten Wärmeeintrag des KKKU in den vergangenen 10 Tagen (oben) und das Beispiel mit dem größten Integral oberhalb der 0,5 K-Linie (unten) dargestellt. 89

Abb. 44: Lage der Profile am KKKU..... 90

Abb. 45: Längsprofile durch die Wärmefahne am KKKU vom 21.09.2006. , Das westliche Profil läuft durch die Wärmefahne, das östliche Profil ist das Referenzprofil. 90

Abb. 46: Längsprofile durch die Wärmefahne des KKKU an drei verschiedenen Aufnahmezeitpunkten..... 91

Abb. 47: Ausdehnung verschiedener Wärmebereiche im Umkreis des Kraftwerks KKKU..... 92

Abb. 48: Verlauf der maximalen Ebbfahne (obere Abbildung) und Flutfahne (untere Abbildung) durch die 3 simulierten Wärmeeinleitungen bei Stade (rote Punkte) für den Vergleichszustand (links), und den Belastungszustand (mittig) sowie deren Temperaturdifferenzen (rechts) (aus DHI/WASY 2010 Abb. 9 und 10)..... 94

Abb. 49: Ausdehnung der Ebb- und Flutfahne entlang der Elbe mit einer Temperaturerhöhung von 0,5 K am Kraftwerk Brokdorf geschätzt nach DHI/WASY (2010). 95

Abb. 50: Ausschnitte von Satellitenszenen zur Darstellung der Wassertemperatur an verschiedenen Aufnahmezeitpunkten..... 96

Abb. 51: Anzahl der untersuchten Landsat-Aufnahmen mit und ohne erkennbarer Wärmefahne..... 97

Abb. 52: Darstellung der unterschiedlichen Letalitätsgrenzen und Toleranzen; CTM= critical thermal maximum; UILT = upper incipient lethal temperature; LILT = lower incipient lethal temperature; UUILT ultimative upper incipient lethal temperature; AP=acute thermal preferendum (Jobling 1981). 101

Abb. 53: Schematische Darstellung der Ausbreitung einer Wärmefahne im Flussquerschnitt. Die dargestellten Isolinien zeigen die Bereiche an, in denen ein ΔT von 1, 2 bzw. 3K überschritten wird. Idealierte Annahme..... 145

Abb. 54: Schematische Darstellung für die Festlegung von Messorten für das Monitoring von Wärmeeinleitern im Küstenbereich. 150

Abb. 55: Schema für die Bewertung der Wasserkörper im Hinblick auf Wärmeeinträge. 154

Abb. 56: Längsprofil der Wassertemperatur in der Weser vom 13.3.2009 und 8.7.2010. Dargestellt sind die Basislinie, welche die niedrigsten Temperaturwerte am Anfang (< 40 km) und am Ende (> 70 km) miteinander verknüpft sowie die um 0,5 K, 1 K und 2 K erhöhten Parallelen, welche eine Überschreitung der betreffenden Werte für die Temperaturerhöhung anzeigen..... 160

Abb. 57: Monitoring der Wassertemperatur im Bereich der niedersächsischen Küsten- und Übergangsgewässer: Die größten Wärmeeinträge (rot) und die Messstationen, an denen kontinuierlich die Wassertemperatur gemessen wird (hellgrün = in Betrieb, dunkelgrün = außer Betrieb). Datengrundlage sind die Wärmeeinträge im Jahr 2012.	169
Abb. 58: Wärmeeinträge in die niedersächsischen Küsten- und Übergangsgewässer in den Jahren 2009 bis 2012, logarithmische Darstellung. Alle Einleiter mit Einleitungen von mehr als 10^{14} Joule pro Jahr sind beschriftet.	193
Abb. 59: Wärmeeinträge in die Wasserkörper der niedersächsischen Küsten- und Übergangsgewässer: Für jeden Einleiter eines Wasserkörpers sind die Werte der Jahre 2009 bis 2012 dargestellt. Für die Übergangsgewässer der Weser und Elbe sind jeweils zwei Balkendiagramme dargestellt, wobei das zweite Diagramm ohne die jeweils großen Einleiter KKW-Unterweser (Weser) bzw. Brokdorf und Dow (Elbe) erstellt wurde. Doppelnennungen bedeuten, dass der betreffende Einleiter zwei Einleitungsstellen hat (das heißt z. B. getrennte Einleitungen von 2 Kraftwerksblöcken).	198
Abb. 60: Zeitserien der Wassertemperatur im niedersächsischen Küstengewässer: Dargestellt sind Zeitreihen an einer Messstation im Jadebusen, JaBu_W1, einer Messstation südwestlich von Norderney (Nney_W_3, Niedrigwassermessungen) und an eine Station bei Spiekeroog. Für die Lage dieser Stationen siehe Abb. 5.	201
Abb. 61: Zeitserie der Wassertemperatur in der Ems (Gandersum). Die Lage der Station ist in Abb. 5 b dargestellt.	202
Abb. 62: Zeitserien der Wassertemperatur in der Weser: Dargestellt sind Zeitreihen an den Pegel-Messstationen des WSA Bremerhaven von der Station Leuchtturm Alte Weser (a) bis Brake.	205
Abb. 63: Zeitreihe der Wassertemperatur in der Elbe bei Cuxhaven für den Zeitraum 1984 – 1994 (Daten aus dem Fachinformationssystem der FGG Elbe, abgerufen am 7.7.2014).	206
Abb. 64: Zeitserie der Wassertemperatur in der Elbe (Grauerort). Die Lage der Station ist in Abb. 5 dargestellt.	206
Abb. 65: Zeitreihe der Wassertemperatur in der Elbe bei Seemannshöft für den Zeitraum 1985 – 2013 (Fachinformationssystem der FGG Elbe, abgerufen am 7.7.2014).	207
Abb. 66: Ausschnitte von Landsat-Satellitenszenen zur Darstellung der Wassertemperatur im Bereich des Kernkraftwerkes WHV im Jadebusen an verschiedenen Aufnahmezeitpunkten.	209
Abb. 67: Ausschnitte von Landsat-Satellitenszenen zur Darstellung der Wassertemperatur im Bereich des Kernkraftwerkes WHV im Jadebusen an verschiedenen Aufnahmezeitpunkten.	212
Abb. 68: Ausschnitte von Landsat-Satellitenszenen zur Darstellung der Wassertemperatur im Bereich des Kernkraftwerkes Brokdorf an verschiedenen Aufnahmezeitpunkten.	214
Abb. 69: Ausschnitte von Landsat-Satellitenszenen zur Darstellung der Wassertemperatur im Bereich des Kernkraftwerkes Brokdorf an verschiedenen Aufnahmezeitpunkten.	216



Glossar

(A)ATSR – Advanced Along-Track Scanning Radiometer

AC - Alternating Current

AP - Bevorzugter Temperaturbereich (acute thermal preferendum)

(ArcGIS-)ArcView - GIS-Programm der Firma ESRI (Environmental Systems Research Institute)

AWZ – Ausschließliche Wirtschaftszone nach internationalem Seerecht

BUI SY - Bremer Umwelt-Informationssystem

CONTIS - Continental Shelf Information System des BSH

CTM - critical thermal maximum

DC - Direct Current

EM - Einzelmessung

EWG - Einwohnergleichwert

FE - Fernerkundung

FGG - Flussgebietsgemeinschaft

FIS - Fachinformationssystem der FGG Elbe

GES - Good environmental status

GIS – Geografisches Informationssystem

GW(h) - Gigawatt (-Stunden)

HVDC - High Voltage Direct Current

HMBW - erheblich veränderte Wasserkörper

HW - Hochwasser

IHK - Industrie- und Handelskammer

IKSE - Internationale Kommission zum Schutz der Elbe

KA - Kläranlage

KK(W) - Kernkraftwerk

KKU - Kernkraftwerk Unterweser

KW - Kraftwerk

Landsat 5 TM, Landsat 7 ETM und Landsat 8 TIRS - Sensoren der Landsat-Satelliten 5, 7 und 8

LDB - Landesdatenbank Niedersachsen

LE - Loss of equilibrium

LILT - lower incipient lethal temperature

LT50 - Temperatur bei der 50 % der Population innerhalb eines bestimmten Zeitraumes stirbt.

MODIS - Moderate-resolution Imaging Spectroradiometer (Sensor der Satelliten MODIS-Aqua und MODIS-Terra)

MSRL – Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie

MW - Megawatt



NW - Niedrigwasser

OSPAR - völkerrechtlicher Vertrag zum Schutz der Nordsee und des Nordostatlantiks (Oslo- und Paris-Konvention)

NIS - Non indigenous species

NLWKN - Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz

PJ - Penta Joule (10^{15} Joule)

SD - Standardabweichung

SST – Sea Surface Temperature

UILT - upper incipient lethal temperature

ULT - (Hohe) Letale Temperatur (Upper lethal temperature)

UUILT ultimate upper incipient lethal temperature

WE - Wärmeeinheiten

WRRL – Wasser-Rahmenrichtlinie

WSV - Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes

WT - Wassertemperatur



1 Einführung

1.1 Ziel der Studie

Die Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie (MSRL) stellt die Umweltsäule der europäischen integrierten Meerespolitik dar. Gemäß dieser Richtlinie muss zum Schutz und Erhalt der Meeresumwelt die Erreichung und Einhaltung von Umweltzielen nachgewiesen werden. Für den Themenbereich Energie (Deskriptor 11 der MSRL) wurden für deutsche Meeresgewässer auch Umweltziele zur Temperatur festgelegt. Das entsprechende deutsche Umweltziel für Maßnahmen lautet:

„Die Einleitung von Energie, einschließlich Unterwasserlärm, bewegt sich in einem Rahmen, der sich nicht nachteilig auf die Meeresumwelt auswirkt.“

und eines der untergeordneten operativen Ziele:

„Der anthropogene Wärmeeintrag hat räumlich und zeitlich keine negativen Auswirkungen bzw. überschreitet die abgestimmten Grenzwerte nicht“

Für die Anfangsbewertung in 2012 (BLANO 2012a) lag noch kein Verfahren für eine Bewertung des anthropogen verursachten thermischen Zustandes der Gewässer vor. Stattdessen erfolgte eine Experteneinschätzung, die aber künftig durch ein standardisiertes, nachvollziehbares Bewertungsverfahren ersetzt werden soll.

Das Ziel dieser Studie war es daher, die Grundlagen für ein solches Bewertungsverfahren zu schaffen, ein entsprechendes Bewertungsverfahren mit den Grenzwerten vorzuschlagen und ein Monitoringprogramm zur Überwachung des thermischen Zustandes der Gewässer zu entwickeln. Die Aufgabenstellung ist dabei in erster Linie auf die niedersächsischen Küsten- und Übergangsgewässer ausgerichtet (siehe Abb. 1), wobei die laufenden Überwachungsaktivitäten eingebunden werden müssen.

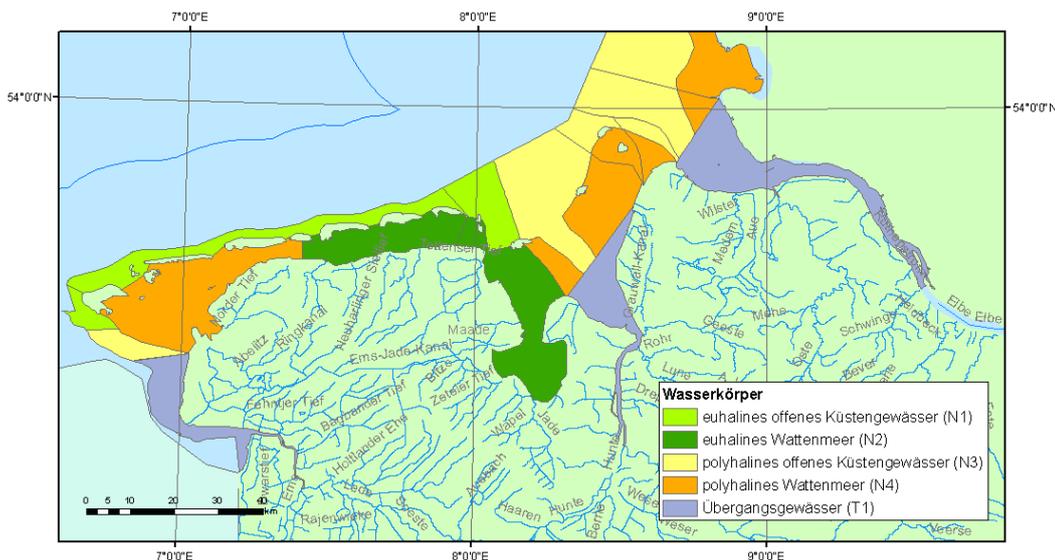


Abb. 1: Wasserkörper nach WRRL im Bereich der niedersächsischen Küsten- und Übergangsgewässer sowie die 12 Seemeilenzone und ein Teil der AWZ.

Ausgangspunkt für diese Studie waren primär die beim NLWKN vorhandenen Daten über Wärmeeinträge diverser Einleiter in die niedersächsischen Küsten- und Übergangsgewässer und räumlich und zeitlich aufgelöste Messungen der Wassertemperatur. Die Konsolidierung und Aufbereitung der Eingangsdaten stellte eine wichtige Grundlage dieser Studie dar. Zusätzlich wurden die Temperaturverhältnisse in Bereichen mit großen anthropogenen Wärmeeinträgen mithilfe der

Fernerkundung (FE) dargestellt. Außerdem wird gezeigt inwieweit die Fernerkundungsdaten für ein Bewertungs- und Monitoringkonzept genutzt werden können.

Um die biologischen Auswirkungen der anthropogenen Wärmeeinträge auf das Ökosystem bewerten zu können, müssen Grenzwerte definiert werden. In einer Literaturrecherche wurden daher die biologischen Effekte von Wärmezufuhr auf das Ökosystem zusammengestellt und auf dieser Grundlage Temperaturgrenzwerte abgeleitet und ein Konzept zur Bewertung und Überwachung der thermischen Belastung der niedersächsischen Übergangs- und Küstengewässer skizziert. Diese Vorschläge wurden in enger Zusammenarbeit mit dem NLWKN erarbeitet.

1.2 Vorgehensweise

In dieser Studie wird unterschieden zwischen Phase 1 "Bestandsaufnahme & Literaturstudie" und Phase 2 „Konzepterstellung“.

Die Phase 1 besteht aus einer Bestandsaufnahme im Hinblick auf:

- Daten, die für die Bewertung von Wärmeeinträgen benötigt werden (Kapitel 2 Verwendete Daten)
- In der Literatur beschriebene Effekte durch Temperaturänderungen, die durch Wärmeeinträge bedingt werden (Kapitel 5)
- Existierende Grenzwerte und Bewertungsverfahren zur Bewertung von anthropogen bedingten Temperaturerhöhungen (Kapitel 6)

In Phase 2 werden die Ergebnisse aus der ersten Projektphase ausgewertet und ein Entwurf für einen Bewertungsansatz für Wärmeeinträge abgeleitet. Basierend auf diesem Ansatz werden explizite Anforderungen an ein Monitoring von Wärmeeinträgen formuliert.

Entsprechend dieser Vorgehensweise ist das vorliegende Dokument wie folgt gegliedert:

- Methodenteil (Kapitel 3)
- Darstellung der Ist-Situation (Kapitel 4 Ergebnisse)
- Prüfung der Eignung vorhandener Bewertungsansätze und Grenzwerte (Kapitel 7 Bewertungskriterien)
- Vorschlag für ein Monitoringkonzept (Kapitel 8.1 Monitoring)
- Vorschlag für eine Bewertung der Wärmeeinleitungen in Übergangs- und Küstengewässer (Kapitel 8.2 Bewertung)

Das Gutachten schließt ab mit einer aktuellen Einschätzung zur Bewertung der niedersächsischen Küsten- und Übergangsgewässer auf der Grundlage des entworfenen Ansatzes (Kapitel 9 Test des Bewertungsverfahrens durch Anwendung auf das Untersuchungsgebiet) und einem zusammenfassenden Kapitel über die wesentlichen Ergebnisse dieser Studie sowie den Schwachstellen der vorgestellten Konzepte aufgrund fehlender Monitoring-Aktivitäten (Kapitel 10).

2 Verwendete Daten

Im Rahmen einer Ist-Analyse wurden in dieser Studie Informationen über die anthropogen bedingten Wärmeeinträge, die natürlichen Temperaturbedingungen und die räumliche Ausdehnung von Wärmefahnen im Bereich des niedersächsischen Küstengewässers und der Übergangsgewässer der Ems, Weser und Elbe zusammengestellt.

Für die Quantifizierung der Wärmeeinträge sind die absoluten Mengen der zugeführten Wärmeenergie sowie deren räumliche Ausbreitung und Verteilung interessant. Für die Beschreibung der natürlichen bzw. anthropogen beeinflussten Temperaturbedingungen standen Temperatur-Zeitreihen von Dauermessstationen in allen genannten Gewässern sowie Temperaturprofile von Schiffsfahrten auf der Weser zur Verfügung. Als Bezugsgröße wurden in einigen Fällen die Abflüsse der Fließgewässer Ems, Weser und Elbe berücksichtigt.

Die Daten, die für diese Studie zur Verfügung standen, sind in Tab. 1 aufgelistet. Daten aus dem Continental Shelf Information System (CONTIS) des BSH über die Oberflächentemperaturen der Nordsee wurden in dieser Studie nicht berücksichtigt.

Tab. 1: Datensätze zu Wärmeeinträgen, Wassertemperaturen und Abflüssen, die für diese Studie verwendet wurden.

Messgröße	Datensätze	Zeitraum
Wärmeeinträge		
	<input type="checkbox"/> Zeitreihen Zeitreihen der Kraftwerke E.ON, KKW und Brokdorf (Quelle: Betreiber der Kraftwerke).	2009-2012
	<input type="checkbox"/> Jahressummen Daten zu kommunalen und industriellen Einleitungen. Quelle: behördliche Überwachungsprogramme, betriebliche Wasserbücher und Betreiber der einleitenden Firmen.	2009-2012
Wassertemperatur		
	<input type="checkbox"/> Zeitreihen * zeitlich hoch aufgelöste Daten an festen Messstationen der WSV, des HZGs und des NLWKN in den Fließgewässern Ems, Jade, Weser und Elbe sowie in der Küstenregion * Temperaturzeitreihen aus Fernerkundungsdaten	2009-2012 (tlw. ab 1999) 2013
	<input type="checkbox"/> Profilen * 55 monatliche Messfahrten des WSA-BHV entlang der Weser zur Aufnahme von kontinuierlichen Längsprofilen der Oberflächentemperatur * zwei Terminfahrten des WSA-BHV in der Weser auf der Höhe des KKW-Unterweser zur Aufnahme von Querprofilen in verschiedenen Wassertiefen	2008-2012 2006
	<input type="checkbox"/> Flächenhafte Daten * modellierte Wassertemperaturen aus hydrodynamisch-numerischen Modellen in den Bereichen Jadebusen und Unterelbe (BAW 2007 und DHI/WASY 2010)	Szenarien



Messgröße	Datensätze	Zeitraum
	* Temperaturmessungen über Fernerkundung (Landsat 5, 7 und 8)	2005-2014
Abfluss	Daten der WSV an Pegelstationen der Ems, Weser und Elbe wurden vom NLWKN bereitgestellt.	2009-2012

Für die Darstellung der Daten und Ergebnisse in Kartenausschnitten sowie zu deren weiterer Analyse wurden folgende Geodaten verwendet:

1. Wasserkörper für die Wasser-Rahmenrichtlinie (Wasserblick 2001)
2. Fließgewässer in Niedersachsen (NLWKN)
3. Strukturen für Wärmeeinleitungen:
 - Positionen der Einleiter (Niedersächsische Landesdatenbank)
 - Seekabel:
(BSH-Contis: <http://www.bsh.de/de/Meeresnutzung/Wirtschaft/Seekabel/index.jsp>)

Im Folgenden werden die Angaben zu Wärmeeinleitungen (Wassertemperatur von Ein- und Rücklauf sowie Volumina) sowie die Daten zu Wassertemperatur und Abflüssen in den Übergangsgewässern und im Küstenbereich beschrieben.

2.1 Kühlwasser-Einleiter und Wärmeeinträge

Im Rahmen dieser Studie wurden Daten von Einleitungen durch insgesamt 94 Einleitern berücksichtigt. Eine Übersicht über die Lage und Quellen der Einleiter zeigt Abb. 2. Detaillierte Kartenausschnitte der einzelnen Gewässer finden sich in Abb. 3.

Die Angaben stammen aus der Landesdatenbank Niedersachsen (LDB), von der Umweltbehörde Bremen und den Betreibern der Kraftwerke (siehe Tab. 2). Es wurden alle Einleiter aus der LDB ausgewählt, die im Küstenbereich oder in den Übergangsgewässern liegen und deren Größe mehr als 2000 Einwohnerwerten entspricht. Die Angaben der Landesdatenbank umfassen die eingeleiteten Jahresvolumina sowie deren Wassertemperaturen. Die Wassertemperaturen am Einleiter wurden in der Regel quartalsweise gemessen und in dieser Studie als Grundlage zur Berechnung (Schätzung) des Jahresmittels verwendet. Je nach Probenahme-Zeitpunkt weicht das berechnete Mittel vom tatsächlichen Mittel mehr oder weniger ab. Zeitlich hoch aufgelöst sind die Zeitreihen der Volumina und Temperaturen des Kühlwassers aus den Kernkraftwerken Brokdorf und Unterweser.

Für die Einleiter in Bremen liegen nur die Einleitungs-Genehmigungen der Bremer Umweltbehörde mit den genehmigten Volumina und Temperatur-Differenzen vor (siehe im Anhang Tab. 57). Eine Ausnahme stellen die Kraftwerke von swb (swb-Erzeugung und swb-Entsorgung) dar, von denen Angaben zu den eingeleiteten Volumina, der Temperatur des eingeleiteten Wassers und der eingeleiteten Wärmemenge vorliegen.

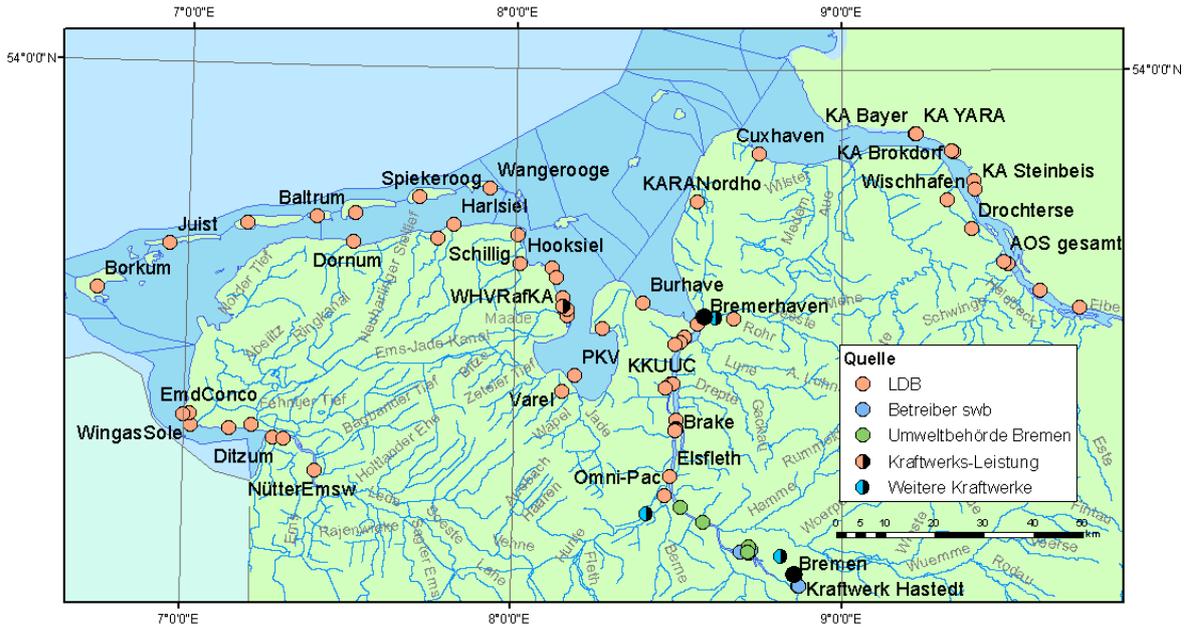
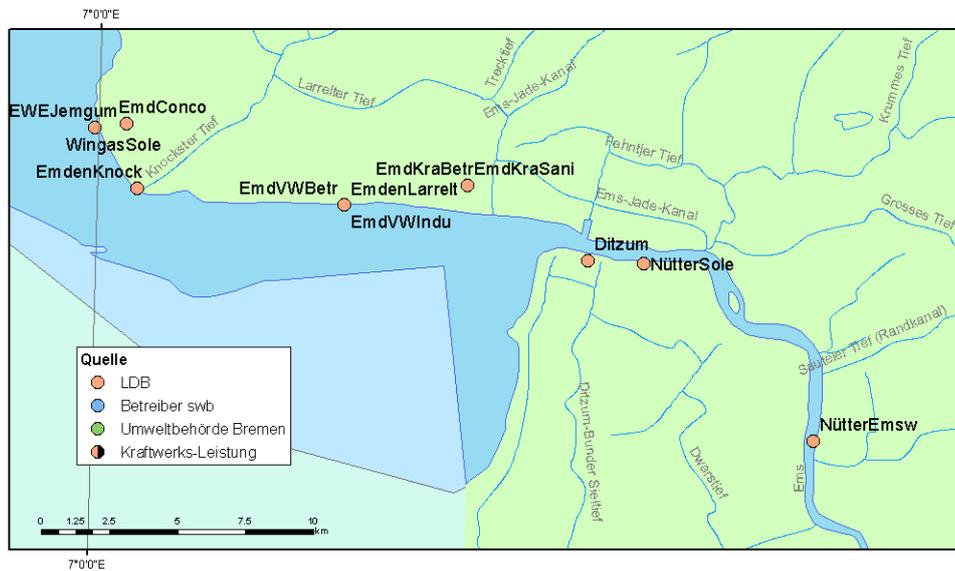


Abb. 2: Wärmeeinleitungen im Bereich der niedersächsischen Küsten- und Übergangsgewässer: Dargestellt sind die Orte von 83 Einleitungen (Quelle: niedersächsische Landesdatenbank) zusammen mit den beiden E.ON-Kraftwerken in Brokdorf und an der Weser (beige), 3 von der Umweltbehörde Bremen genehmigte Einleitungen (grün;), 7 Einleitungen durch swb (blau), des E.ON-Kraftwerks in WHV (beige-schwarz) und die Standorte von 5 weiteren Kraftwerken (blau-schwarz). Detaillierte Kartenausschnitte der einzelnen Gewässer enthält Abb. 3.

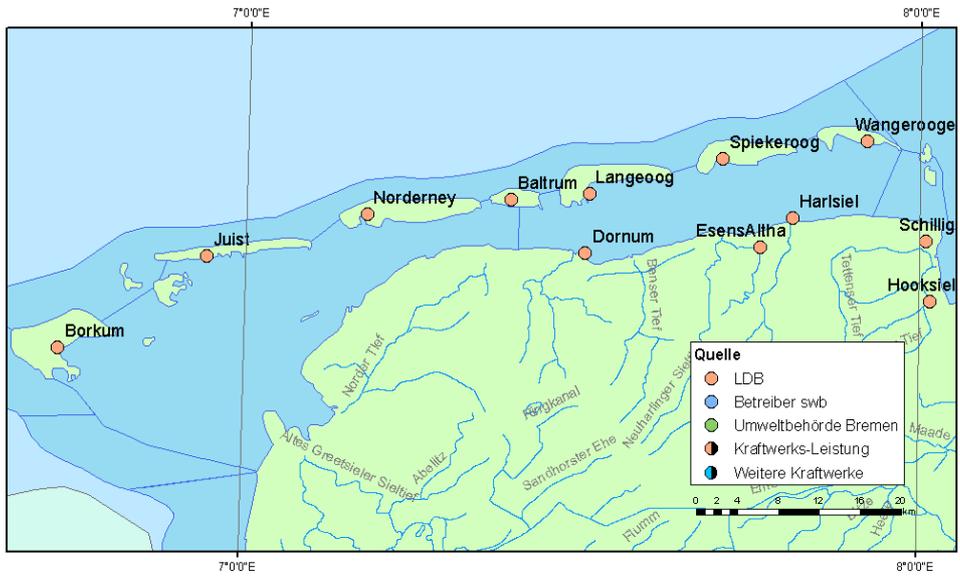
Untere Ems¹⁾



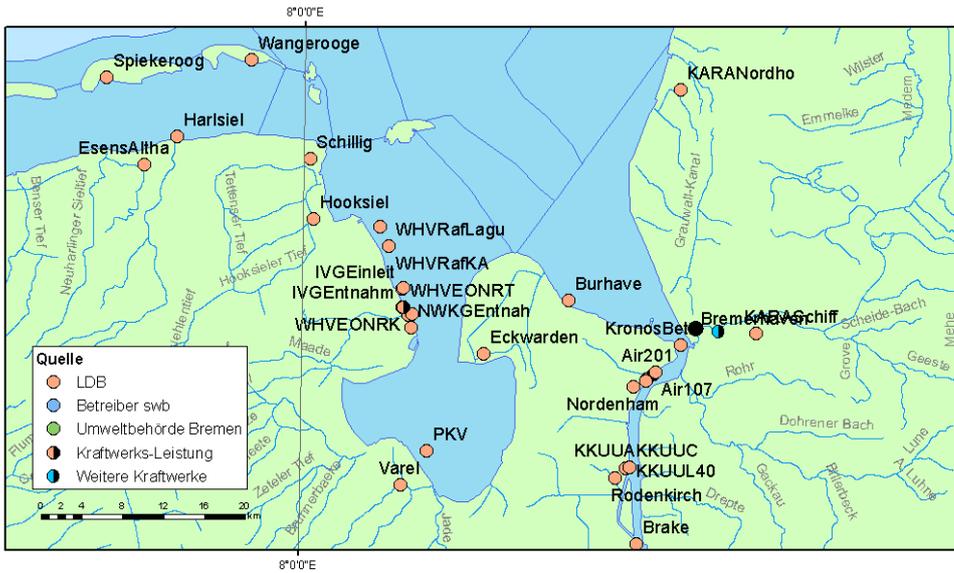
¹⁾ Die Einleitstelle von EWE Nüttermoor Sole (Nüttermoor) wurde Ende 2010 nach Rysum zu den Einleitungen von Wingas und EWE Jemgum verlegt.



Küste zwischen Ems und Jade

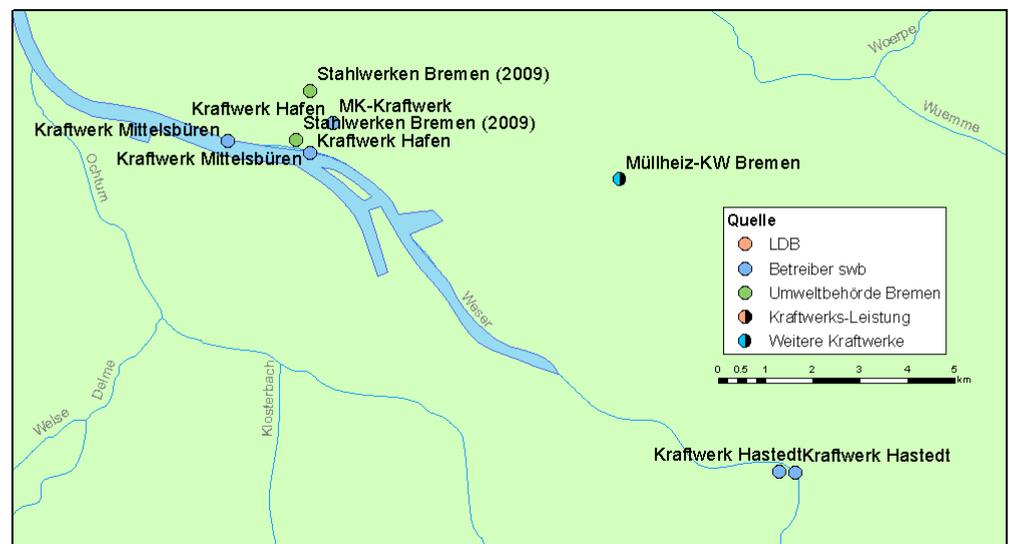
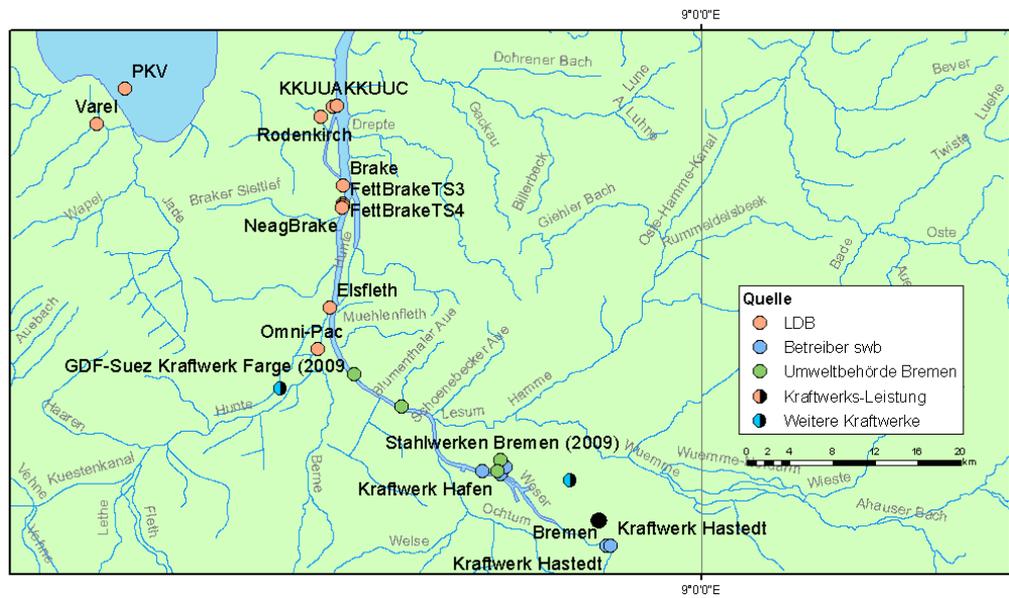
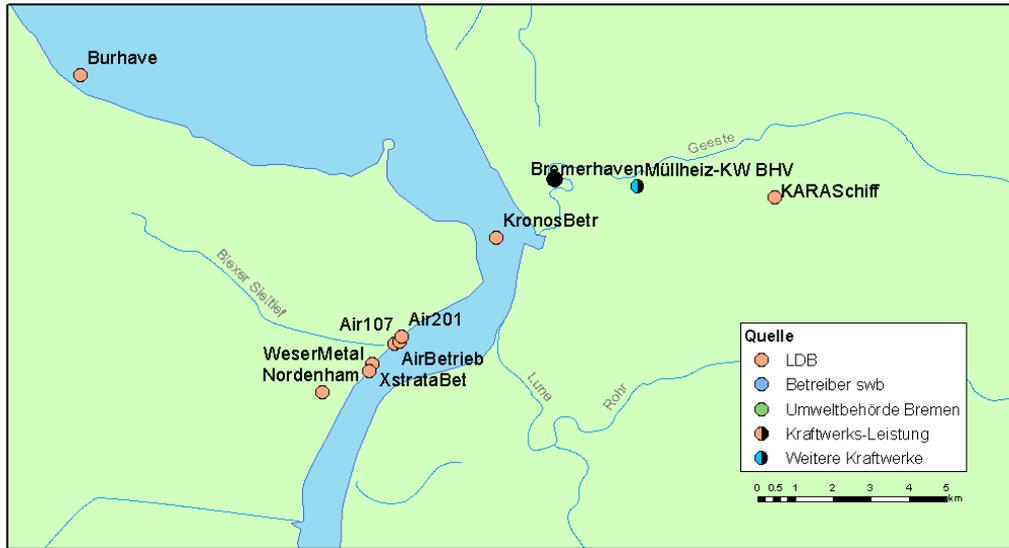


Jade





Untere Weser





Untere Elbe

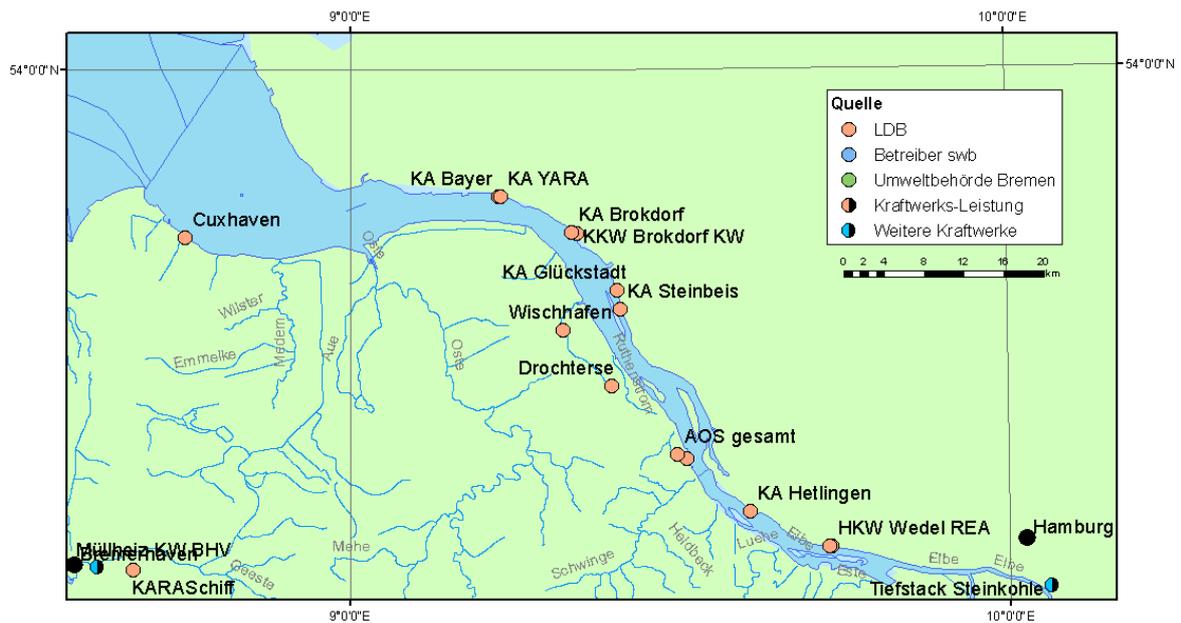


Abb. 3: Wärmeeinleitungen in die niedersächsischen Küsten- und Übergangsgewässer. Zusätzlich zu den Einleitern, von denen Angaben über Wärmeeinleitungen vorliegen, sind 8 Kraftwerke dargestellt, deren Wärmeeinträge in dieser Studie nicht berücksichtigt worden sind. (Quellen: niedersächsische Landesdatenbank (83 Einleiter inkl. zweier E.ON-Kraftwerke), Umweltbehörde Bremen (3 Einleitungsgenehmigungen aus dem Bremer Umwelt-Informationssystem BUISY: <http://www.umwelt.bremen.de/de/detail.php?gsid=bremen179.c.1746.de>), E.ON (Kraftwerk-WHV) und swb (7 Kraftwerksblöcke, pers. Mitteilung).

Tab. 2: Informationen über Wärmeeinleitungen in die niedersächsischen Küsten- und Übergangsgewässer, die im Rahmen dieser Studie verwendet wurden.

Ort	Zeitraum	Parameter (Messintervall)	Originator
81 Einleitungsquellen²⁾	31.1.2008 - 15.12.2012	Jahresvolumina und Temperatur (Quartal)	Niedersächsische Landesdatenbank
Von der Umweltbehörde Bremen genehmigte Einleitungen (3 Einleitungen)^{3) 4)}	1997-2010	Genehmigte Temperaturen und Volumina	Umweltbehörde Bremen
swb-Kraftwerke (7 Kraftwerksblöcke)	2002 - 2013	Jahreswerte für Volumina, Temperatur und Wärmeenergie	swb
Kernkraftwerk Brokdorf	1.1.2008 – 31.12.2012	Volumen und Temperatur (Stunde)	E.ON (über NLWKN)
Kernkraftwerk Unterweser	1.1.2008 – 30.12.2012	Volumen und Temperatur (Tag)	E.ON (über NLWKN)
E.ON-Kraftwerk Wilhelmshaven	1.1.2009-31.12.2012	Rückfluss [m ³ /s] und Temperatur (Tag)	E.ON (über NLWKN)
Weitere Kraftwerke im Bereich Ems, Jade, Weser und Elbe⁵⁾	Keine Angaben	Leistung und Kraftwerkstyp	Webseiten der Betreiber

²⁾ Zu folgenden Einleitern der genannten 83 Einleitern lagen keine Angaben über die eingeleiteten Volumina vor: WINGAS Sole, Heizkraftwerk Wedel (Vattenfall) BAA und REA, EWE Jemgum Sole, KA Hetlingen avz Südholstein, GW Sanierung Exxon.

³⁾ In dieser Studie dargestellt werden nur die drei Wärmeeinträge durch die Kraftwerke der GDF-Suez in Farge (1 Einleitung) und der Stahlwerke in Bremen (2 Einleitungen). Für die bremischen Kraftwerke der swb liegen gesonderte Angaben vor.

⁴⁾ Quelle: Bremer Umwelt-Informationssystem
(<http://www.umwelt.bremen.de/de/detail.php?gsid=bremen179.c.1746.de>).

⁵⁾ Diese Kraftwerke liegen außerhalb des Untersuchungsgebietes (z. B. Kraftwerk in Hamburg Tiefstack) oder es lagen keine Angaben zu Wärmeeinträgen vor (z. B. Müllheizkraftwerk Bremerhaven). Sie werden in dieser Studie lediglich erwähnt und ihre Positionen dargestellt, werden in den Datenanalysen jedoch nicht berücksichtigt. (siehe Abb. 3).

Zu den größten Wärmeeinleitern innerhalb des Untersuchungsgebietes zählen die Kraftwerke. Derzeit gibt es 20 größere Kraftwerke von Energieversorgern mit einer elektrischen Leistung von mindestens 50 MW (siehe Tab. 3 und Abb. 4). Die größten Kraftwerke sind das Kernkraftwerk (KKW) in Brokdorf sowie das KKW an der Unterweser (KKU) mit jeweils 1410 bzw. 1345 Megawatt Netto-Leistung (MW). Am Jadebusen existiert derzeit das Kohlekraftwerk Wilhelmshaven (E.ON) mit einer Leistung von 757 MW, welches bis ca. 2022 betrieben wird sowie das noch im Bau befindliche Steinkohlekraftwerk von GDF-Suez mit 710 MW Leistung, welches in 2014 in Betrieb gehen soll. Damit wird die Kühlwärme aus der Produktion von insgesamt 1467 MW fast punktuell in den Jadebusen eingetragen. Das entspricht der Größenordnung der beiden Kraftwerke Brokdorf und KKW-Unterweser.

13 der aufgelisteten Kraftwerke sind in Betrieb, 3 außer Betrieb und 4 in Bau bzw. in Planung. Für das Kraftwerk in Mittelsbüren an der Weser ist ein Ausbau von 160 auf 445 MW plant.

Folgende Kraftwerke (in der Tabelle kursiv dargestellt) wurden in dieser Studie nicht berücksichtigt:

- Müllheizkraftwerke Bremerhaven und Bremen (BEG und swb-Entsorgung): es lagen keine Informationen über die Höhe der Wärmeeinleitungen vor
- Kraftwerk Huntorf (E.ON): Bedarfskraftwerk, welches nicht direkt an der Weser liegt,
- Steinkohlekraftwerk in Hamburg-Tiefstack (Vattenfall): liegt weit oberhalb des Übergangsgewässers Elbe
- In Bau befindliches Kohlekraftwerk in Hamburg-Moorburg

In Brunsbüttel und Wedel befinden sich laut IHK- Nord (2012) je ein Heizölkraftwerk, diese werden in den Angaben der Betreiber jedoch nicht aufgeführt und werden im Rahmen dieser Studie ebenfalls nicht berücksichtigt (siehe Tab. 4).

Tab. 3: Kraftwerke (> 50 MW) im Einzugsgebiet der niedersächsischen Küsten- und Übergangsgewässer (inkl. der beiden Hamburger Kraftwerke in HH-Moorburg und HH-Tiefstack). Quelle: IHK-Nord (2012), Wikipedia (Liste deutscher Kraftwerke) und Webseiten der genannten Energiekonzerne ⁶⁾. Kursiv: Kraftwerke die in Betrieb sind, deren Wärmeeinträge jedoch nicht im Rahmen dieser Studie berücksichtigt wurden.

Außer Betrieb

Betreiber	Kraftwerk	Betrieb	Leistung [MW]
E.ON	KKW Stade	1972 - 2003	0 (640) MW
Statkraft	Erdgas-Kraftwerk Emden (früher E.ON)	Seit 2012 Kaltreserve	0 (430) MW
Vattenfall	KKW Brunsbüttel	1976 -2011	Derzeit 0, bis 2011 771 MW

In Betrieb

Betreiber	Kraftwerk	Betrieb	Leistung [MW]
BEG	<i>Müllheizkraftwerk Bremerhaven an der A27</i>		<i>Netto-Wärme-Nennleistung von 60 MW (100.000 MW h Strom und rund 300.000 MW h Fernwärme)</i>
Dow Chemical	Erdgaskraftwerk Stade	Alt bis 2013 neu ab 2014	193 MW/ 163 MW
E.ON	Kohle- und Erdgaskraftwerk-WHV	2022 (Erdgas bis 2013)	757 MW + 56 MW Erdgas
	KKW Unterweser	1978 -2011	1345 MW
	<i>Kraftwerk Huntorf</i>	<i>Bis 2018</i>	<i>321 MW</i>
	KKW Brokdorf (20 % Vattenfall)	1986 - max. 2021	1410 MW
GDF Suez (50000 qm Kühlwasser/h, Weser)	Steinkohle-KW Farge	Seit 1924 (bis ca. 2024)	350 MW
Swb Erzeugung GmbH	Kraftwerk Bremen-Hafen (Kohle) Block 5 und 6	Seit 1957 bis 2013/2024	460 MW
	<i>Müllheizkraftwerk Bremen</i>	<i>Seit 1969 (2013 modernisiert)</i>	<i>50 MW elektr. und 221 MW therm. (270.000 MW h Strom und 200.000 MW h Fernwärme)</i>

⁶⁾ Vattenfall: <http://kraftwerke.vattenfall.de/powerplant/wedel>;

E.ON: <http://www.eon.com/de/ueber-uns/struktur/asset-finder.html>;

swb: <https://www.swb-gruppe.de/ueber-swb/unternehmen/unsere-kraftwerke.php>

Betreiber	Kraftwerk	Betrieb	Leistung [MW]
	Gichtgaskraftwerk Mittelsbüren, Block 4	Bis 2025	160 MW (bzw. 60 im Erdgasbetrieb); Ausbau auf 445 MW geplant
	Bremen Hastedt Block 14 und 15 (Erdgas / Steinkohle)	Bis 2017 / 2024	155 / 120 MW
Vattenfall	<i>Steinkohle-KW Tiefstack</i>	<i>Bis 2033</i>	<i>321 MW</i>
	Steinkohle-KW Wedel	Bis ca. 2017	250 MW elektr. und 420 MW therm.

In Bau oder Planung

Betreiber	Kraftwerk	Betrieb	Leistung [MW]
Dow Chemical	Kohlekraftwerk Stade	Ab 2018 (Gen.- Verfahren läuft)	800 MW
GDF Suez	Steinkohlekraftwerk Wilhelmshaven	Im Bau (Inbetriebnahme geplant in 2014)	0 (731) MW
Vattenfall	Steinkohle-KW Moorburg	Ab 2014	1640 MW
	Innovations-KW Wedel (Erdgas)	Ab ca. 2016/2017 (Gen.-Verfahren läuft)	470 MW

Tab. 4: Weitere Kraftwerke (> 50 MW) im Einzugsgebiet der niedersächsischen Küstengewässer, die nicht von den Betreibern aufgeführt werden: Quelle: IHK-Nord (2012).

Betreiber	Kraftwerk	Betrieb	Leistung [MW]
Vattenfall	Heizölkraftwerk Brunsbüttel	Bis 2025	254 MW
	Heizöl-KW Wedel	Bis ca. 2025	101 MW

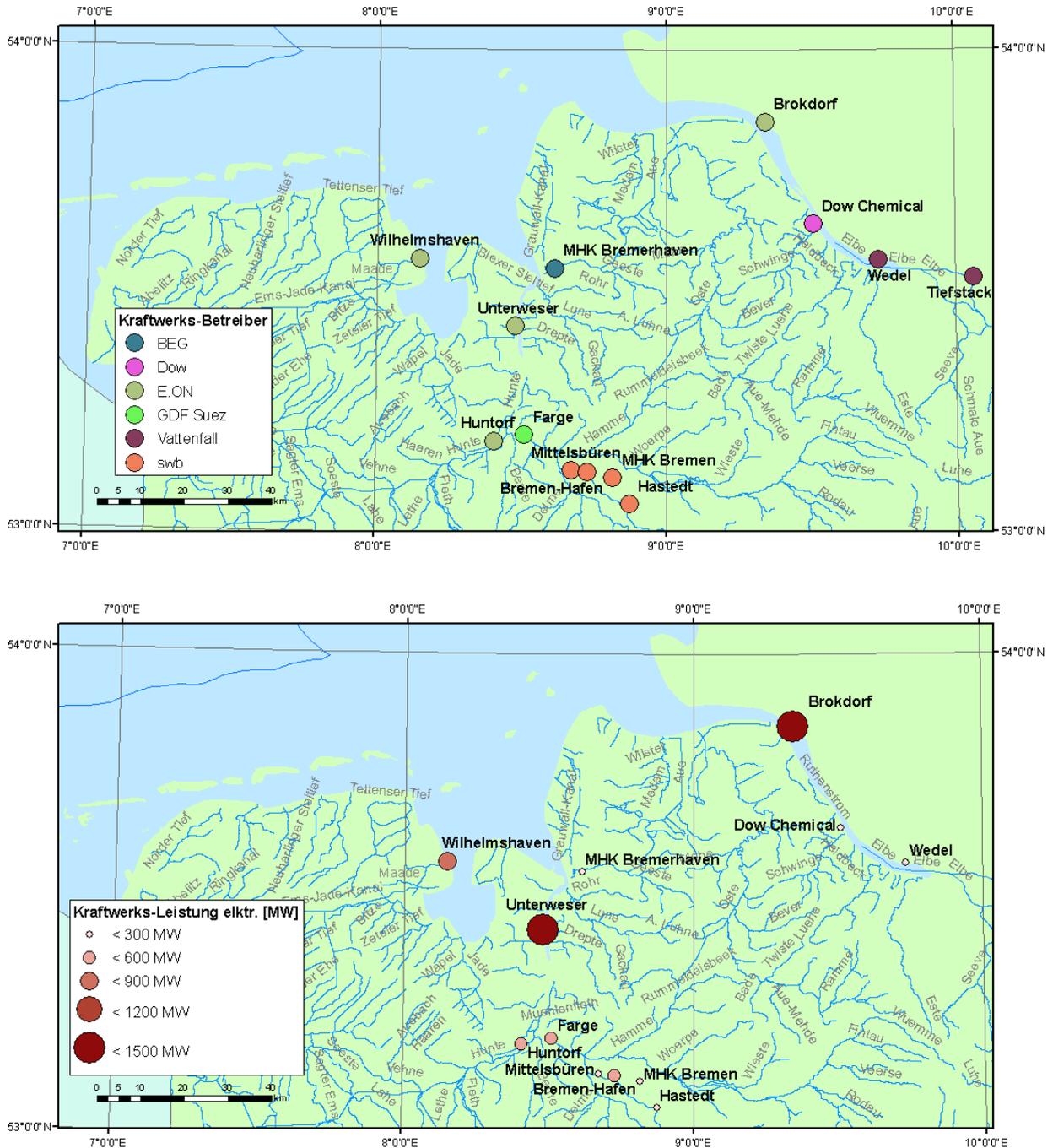


Abb. 4: Derzeit in Betrieb befindliche Kraftwerke im Bereich der niedersächsischen Küsten- und Übergangsgewässer (siehe Tab. 3): Dargestellt sind die Betreiber der Kraftwerke (oben) sowie die Leistung (unten).

2.2 Wassertemperatur

2.2.1 Zeitreihen

In situ-Messungen

Zur Charakterisierung der natürlichen Variabilität der Wassertemperatur wurden Zeitreihen von Temperaturmessungen in den Küsten- und Übergangsgewässern Niedersachsens analysiert. Die Orte von denen Temperaturzeitreihen vorliegen, sind in Tab. 5 aufgelistet sowie in Abb. 5 und Abb. 6 in Kartenausschnitten dargestellt.

Tab. 5: Zeitserien der Wassertemperatur in Übergangs- und Küstengewässern: Angegeben sind der Messzeitraum und die Messintervalle sowie die Datenoriginatoren.

Ort	Zeitraum	Messintervall	Originator
Messtation Norderney W2	4.1.1999 bis 7.11.2013	1 Woche	NLWKN
Messtation Norderney W3	15.1.2007 bis 13.6.2013	1 Woche	NLWKN
Messtation Spiekeroog	15.03.2013 bis 10.02.2014	1 Minute	NLWKN
Ems-Pegel Gandersum (Emssperwerk)	9.1.2008 bis 6.12.2012	1 Monat	NLWKN-Aurich
Messtation Jadebusen W1	13.1.1999 bis 17.12.2012	14 Tage	NLWKN
Messtation „Pile Jade 1“	2008 bis 2011	10 Minuten	HZG
Messtation „Pile Jade 2“	2009 bis 2012	10 Minuten	HZG
11 Messtationen im Küstenbereich der Weser und in der Unterweser	zum Teil ab 1997 bis heute	5 Minuten	WSA- Bremerhaven
Weser-Pegel Intschede	14.1.2008 bis 3.12.2012	1 Monat	WSA Verden
Messtation „Ferrybox at Cuxhaven“	2010 bis 2012	10 Minuten	HZG
Station“Pile HPA Elbe 1“	15.3. bis 20.11.2012	10 Minuten	HPA
Elbe-Pegel Neu Darchau	09.01.2008 bis 19.12.2012	14 Tage	WSA Lauenburg

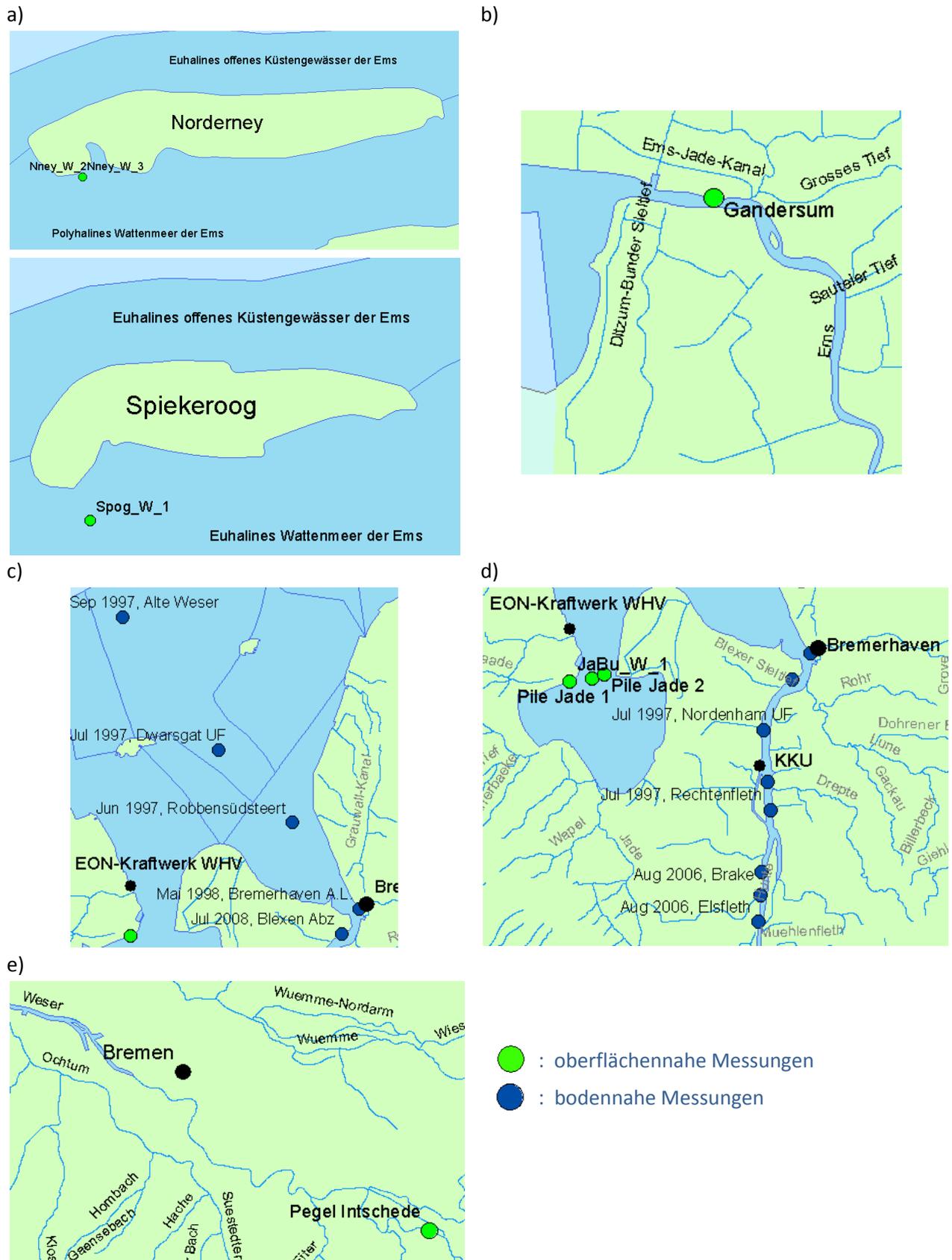
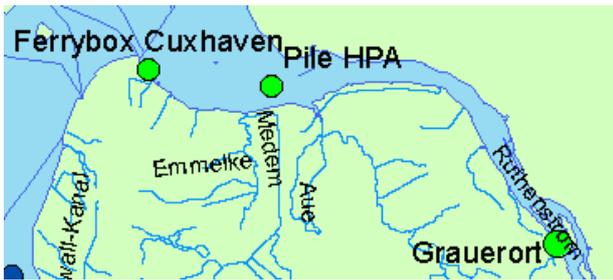


Abb. 5: Pegelstationen im Bereich der niedersächsischen Übergangs- und Küstengewässer (ohne Elbe, hierzu siehe Abb. 6), von denen Temperatur-Zeitreihen vorliegen: Norderney und Spiekeroog (a), Gandersum (b), Küstenbereich Jade und Weser (c), Jadebusen mit Unterweser (d) und Intschede (e). Für die Stationen in der Weser ist jeweils der Monat angegeben, in dem die Zeitreihe begonnen wurde. Grün: Messungen im Bereich der Oberfläche (ca. 1 m); blau: Messungen durch das WSA BHV in Bodennähe (ca. 1 m über Grund).

a)



b)



Abb. 6: Pegelstationen in der Elbe von denen Temperatur-Zeitreihen vorliegen: Elbmündung mit Grauerort (a) und Neu Darchau (b) ⁷⁾.

Anmerkung: Bis 2007 erfolgten die Messungen an der Station Grauerort, wie an den anderen Stationen mit oberflächennahen Messungen, rund 1 m unter der Wasseroberfläche. Seit 2007 erfolgen die Messung bodennah 3m über Grund.

Fernerkundungsdaten

An den Küstenstationen wurden zum Vergleich auch Temperaturzeitreihen aus Fernerkundungsdaten extrahiert und mit den in situ gemessenen Temperaturdaten verglichen. Hierfür wurden Daten der grobauflösenden Sensoren (A)ATRS und MODIS herangezogen, die eine hohe zeitliche Wiederholungsrate von 1-3 Tagen haben. Diese Sensoren liefern die absolute Temperatur in hoher Genauigkeit, allerdings mit einer Pixelgröße von 1 km, so dass kleinräumige Strukturen von bis zu wenigen hundert Metern nicht mehr erkennbar sind. Sie können daher zwar für die Temperaturverläufe und mögliche Trends in größeren räumlichen Einheiten, wie den WRRL-Küstengewässern herangezogen werden, sind für die Anwendung in den Flussläufen der Übergangsgewässer, z. B. zur Erkennung der Abwasserfahnen nicht geeignet. Abb. 7 zeigt als Beispiel je ein Bild der Sensoren AATSR und MODIS vom 02.07.2009.

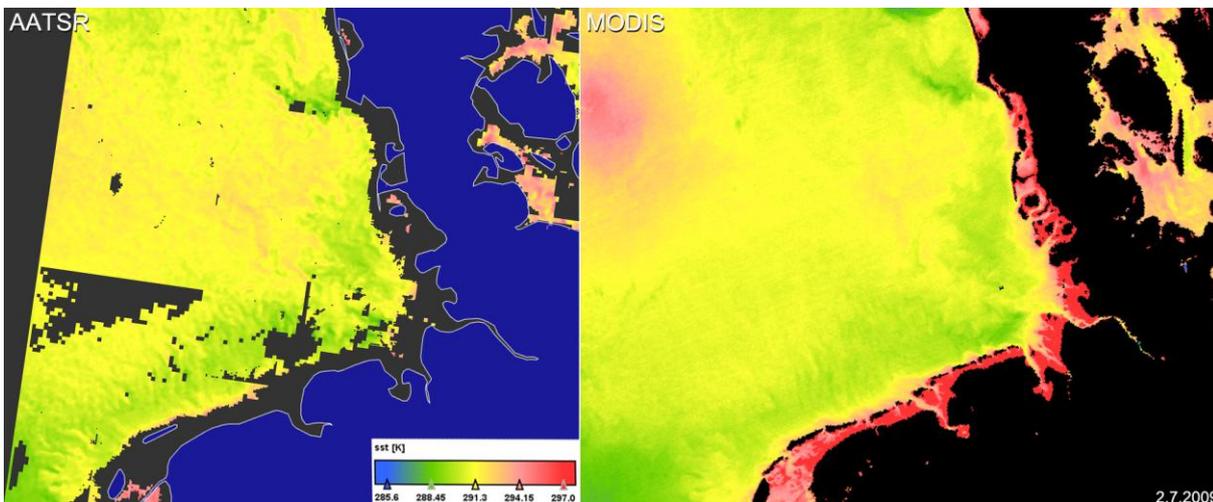


Abb. 7: Bildbeispiele für SST vom AATSR Sensor (links) sowie vom MODIS Sensor (rechts). Aufnahme vom 02.07.2009

⁷⁾ Im Rahmen dieser Studie wurden die Daten von der Hamburg Port Authority (HPA) an der Position 53.86 N, 8.94 O nicht berücksichtigt, da der Zeitraum dieser Messreihe kürzer als 12 Monate ist und nicht mindestens ein vollständiges Jahr abdeckt (15.2. – 20.11.2012 mit einer maximalen Temperatur von über 22 °C über anderthalb Stunden am 19.8.2012).

2.2.2 Profile

Für die Beurteilung von Wärmeeinträgen ist es notwendig, Informationen über die Ausdehnung der Wärmefahnen heranzuziehen. Die Temperaturverteilung in der Weser im Zeitraum 2006 bis 2012 konnte mit 4 Quer- und 55 Längsprofilen dargestellt werden (siehe Tab. 6). Querprofile wurden zu zwei Terminen in unterschiedlichen Wassertiefen im Jahr 2006 aufgenommen, wobei jeweils ein Profil bei Niedrigwasser und ein zweites bei Hochwasser aufgenommen wurde. Die 55 Längsprofile (Oberflächenmessungen) wurden in dem Zeitraum von Januar 2008 bis September 2012 in monatlichen Abständen aufgenommen (keine Aufnahmen in Januar und Februar 2012). Die Lage der Messpunkte der Quer- und Längsprofile sind in Abb. 8 und Abb. 9 dargestellt.

Tab. 6: Wassertemperatur-Profile der Weser: Angegeben sind Zeitpunkt, Messintervalle und die Wassertiefe der Messungen sowie die Datenoriginatoren.

Ort	Zeitraum	Messintervall	Wassertiefe	Originator
Querprofile der Unterweser	2006	2 Aufnahmen (6./7. Sep. und 21./22. Nov.)	Oberfläche, Mitte und Bodennähe	WSA-BHV
Längsprofile der Unterweser	22.01.2008 – 25.09.2012	1 Monat	Oberfläche	WSA-BHV

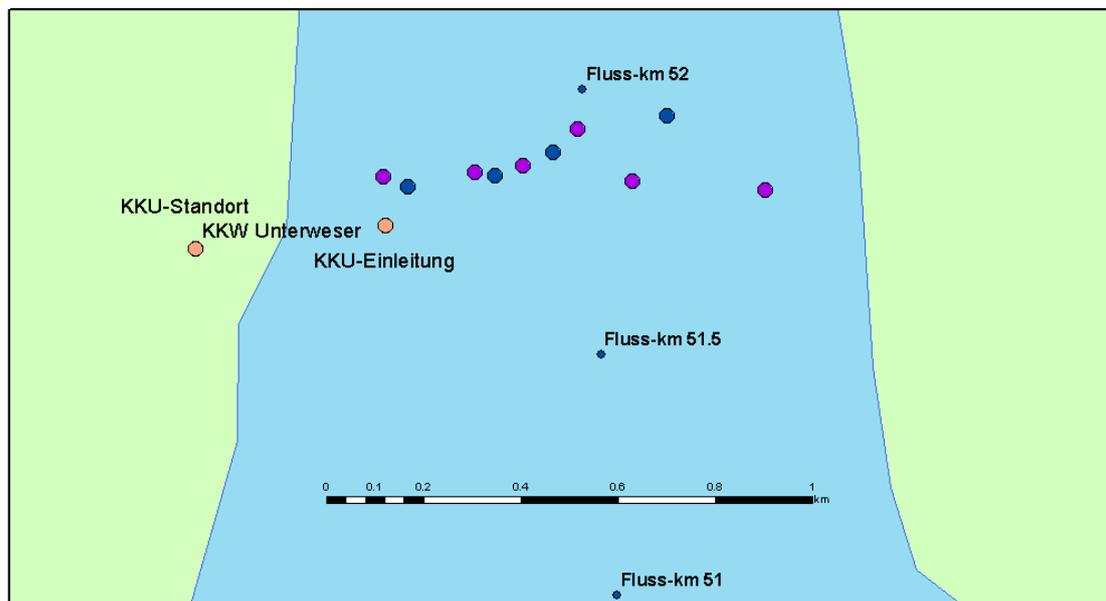


Abb. 8: Querprofile der Wassertemperatur in der Weser: Die Querprofile wurden auf der Höhe der Kühlwassereinleitung durch das Kernkraftwerk Unterweser aufgenommen. Die Messungen erfolgten am 6. und 7.9.2006 (blau) sowie am 21. und 22.11.2006 (violett). Für das Querprofil vom September 2006 fehlt die Position der Messung am linken Ufer, da die exakten Koordinaten nicht bekannt sind.



Abb. 9: Längsprofile der Wassertemperatur in der Weser: Kontinuierliche Oberflächenmessungen erfolgten monatlich von 2008-2012 am linken Rand der Fahrrinne an jedem Flusskilometer im Bereich von 26 bis 80 km.

2.2.3 Flächenhafte Temperaturdaten aus der Fernerkundung

Räumlich hochaufgelöste Fernerkundungsdaten mit einer Pixelgröße von 60-120 m wurden herangezogen, um die flächenhafte Ausdehnung der Wärmefahnen von Wärmeeinleitern zu analysieren. Als Sensoren wurden hier die verschiedenen Aufnahmegereäte der Landsat Satelliten herangezogen, von denen Daten seit 1984 vorliegen. Tab. 7 gibt einen Überblick über die Eigenschaften dieser Sensoren, mit deren Hilfe die räumliche Verteilung relativer Temperaturunterschiede im Wasser erkennbar ist.

Tab. 7: Übersicht der Sensoreigenschaften der Landsat-Sensoren sowie (A)ATSR und MODIS

Eigenschaften	Sensoren				
	Räumlich hochaufgelöste Sensoren			Räumlich grob aufgelöste Sensoren	
	Landsat 5 TM	Landsat 7 ETM	Landsat 8 TIRS	(A)ATSR	MODIS/
Laufzeit	1984-2012	Seit 1999 ⁸⁾	Seit 2013	Seit 2002	Seit 2002
Räumliche Auflösung des thermalen Kanals	120 m	60 m	100 m	1000 m	1000 m
Radiometrische Auflösung	8 bit	8 bit	12 bit	12 bit	12 bit
Erfassungsgrenze Temperaturunterschiede	0.3K	0.3 K	0.1 K	<0.1 K	
Absolute Genauigkeit der Temperatur	-	-	-	<0.2 K	0.4 K
Zeitliche Wiederholungsrate	alle 16 (8) Tage	alle 16 (8) Tage	alle 16 (8) Tage	alle 1-3 Tage	1-2 pro Tag
Anwendungsbereich	Räumliche Ausdehnung von Wärmefahnen Querprofile zur Bewertung der Durchgängigkeit			Zeitreihen für einzelne Positionen oder Regionen	

Unter den drei Landsat-Sensoren weist Landsat 8 mit 12 bit die höchste radiometrische Auflösung im Vergleich zu 8 bit bei Landsat 5 und 7 auf (Tab. 10).

Die radiometrische Auflösung bestimmt, wie gut Temperaturunterschiede aufgelöst werden können. Die räumliche Auflösung ist mit 60 m Pixelgröße bei Landsat 7 am höchsten. Der Grad des Rauschens in den Bildern hängt von der Sensorsensitivität, der Pixelgröße und der radiometrischen Auflösung ab und ist bei den verschiedenen Sensoren daher auch unterschiedlich (Abb. 10).

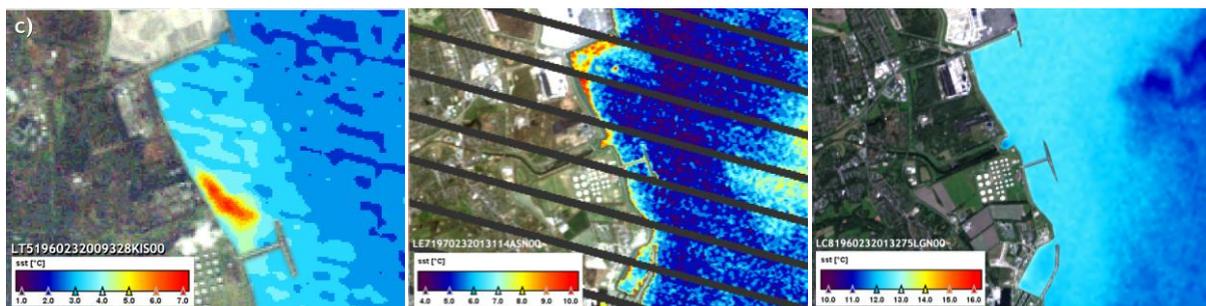


Abb. 10: Beispiele für die Temperaturverteilung in Landsat-Aufnahmen: Dargestellt sind Satellitenbild-Ausschnitte für Landsat 5 (links, 120 m), 7 (mittig, 60 m) und 8 (rechts, 100 m) zu verschiedenen Zeitpunkten.

2.2.4 Flächenhafte Daten aus der hydrodynamisch-numerischen Modellierung

Für diese Studie wurden auch Daten zur Wassertemperatur aus Modellrechnungen der BAW (BAW 2007) und des DHI (DHI/WASY 2010) verwendet. Diese werden an den betreffenden Stellen zitiert.

⁸⁾ Seit 2003 Sensorfehler, wodurch die Produkte Streifen ohne Daten beinhalten.

2.3 Zeitreihen zum Abfluss von Ems, Weser und Elbe

Für den Zeitraum 2008 bis 2012 lagen Abflussdaten von Pegeln an der Ems, Weser und Elbe vor (siehe Tab. 8). Um den Abfluss für andere Orte in den tidebeeinflussten Bereichen der Übergangsgewässer abzuschätzen, wurden entsprechende Umrechnungsfaktoren verwendet (siehe Tab. 9).

Tab. 8: Abfluss der Weser und Elbe: Angegeben ist der Messzeitraum, die Messintervalle sowie die Datenoriginatoren.

Ort	Zeitraum	Messintervall	Originator
Ems-Pegel (Emssperrwerk)	Gandersum 9.1.2008 - 6.12.2012	1 Monat	NLWKN-Aurich
Weser-Pegel Intschede	14.1.2008 – 3.12.2012	1 Monat	WSA Verden
Elbe-Pegel Neu Darchau	9.1.2008 – 19.12.2012	14 Tage	WSA Lauenburg

Tab. 9: Umrechnungsfaktoren für Abflussmessungen an den Pegeln der Weser: Zur Abschätzung der Abflüsse an den angegebenen Stationen im Tidebereich der Weser wurden die benutzten Umrechnungsfaktoren zusammengestellt.

Ort	Berechnung	Quelle
Bremen	Abfluss Intschede * 1,1 (geschätzt)	
Farge (Weser)	Abfluss Intschede * 1,113	NLWKN-Brake
Brake (Weser)	Abfluss Intschede * 1,1815	NLWKN-Brake
Nordenham (Weser)	Abfluss Intschede * 1,1937	NLWKN-Brake
Blexen	Abfluss Intschede * 1.2 (geschätzt)	

Tab. 10: Umrechnungsfaktoren für Abflussmessungen an den Pegeln der Elbe: Aufgelistet sind der mittlere Abfluss von Neu Darchau für den Zeitraum 2009 bis 2012 (Daten der WSV) sowie für die Stationen zwischen Bunthaus und Cuxhaven der langjährige mittlere Elbabfluss (IKSE 2005).

Ort	Abfluss [m ³ / s]	Faktor bezogen auf Neu Darchau
Neu Darchau	727	1
Bunthaus	752	752 / 727 = 1,0344
Wedel	790	790 / 727 = 1,0867
Stade	796	796 / 727 = 1,0949
Grauer Ort (Elbe)	799	799 / 727 = 1,0990
Brokdorf	824	824 / 727 = 1,1334
Brunsbüttel	843	843 / 727 = 1.1596
Cuxhaven	861	861 / 727 = 1,1843

2.4 Weitere Datenquellen

2.4.1 Gewässerdaten der Elbe

Im Rahmen der nationalen und internationalen Messprogramme in der Elbe werden verschiedene Messkampagnen mit 14tägigen bis 2monatigen Messintervallen durchgeführt, z. B. Wassertemperaturmessungen (FGG Elbe 2013, siehe Tab. 11).

Die Daten dieser Messprogramme werden zusammen mit historischen Daten in dem Fachinformationssystem der FGG-Elbe online bereitgestellt: <http://www.elbe-datenportal.de>. Dieses System umfasst Daten von 1926 bis 2013. Die Messstationen mit physikalisch-chemischen Parametern sind in Abb. 11 dargestellt.

Tab. 11: Temperaturmessungen in der Elbe: Aufgelistet sind die Messkampagnen der FGG Elbe, im Rahmen derer die Wassertemperatur ca. 1 m unter der Oberfläche gemessen wird (FGG Elbe 2013).

Messprogramm	Stationen	Messintervall
Teilprogramm Wasser	Zollenspieker, Seemannshöft, Grauerort, Brunsbüttel, Cuxhaven	Monatlich und kontinuierlich
Längsprofil per Helikopter	27 Stationen zwischen Seemannshöft (Fluss-km 629) und Nordertill (> Fluss-m 757)	2monatlich
Erkundung des Sauerstofftals (bei ablaufendem Wasser)	15 Stationen zwischen Seemannshöft (Fluss-km 629) und Grauerort (Fluss-km 661)	14tägig
Erkundung der Brackwassergrenze (bei auflaufendem Wasser)	8 Stationen zwischen Lühe (Fluss-km 644) und Glückstadt (Fluss-km 676)	Situationsabhängig (niedriger Abfluss und Verfügbarkeit von Ressourcen)

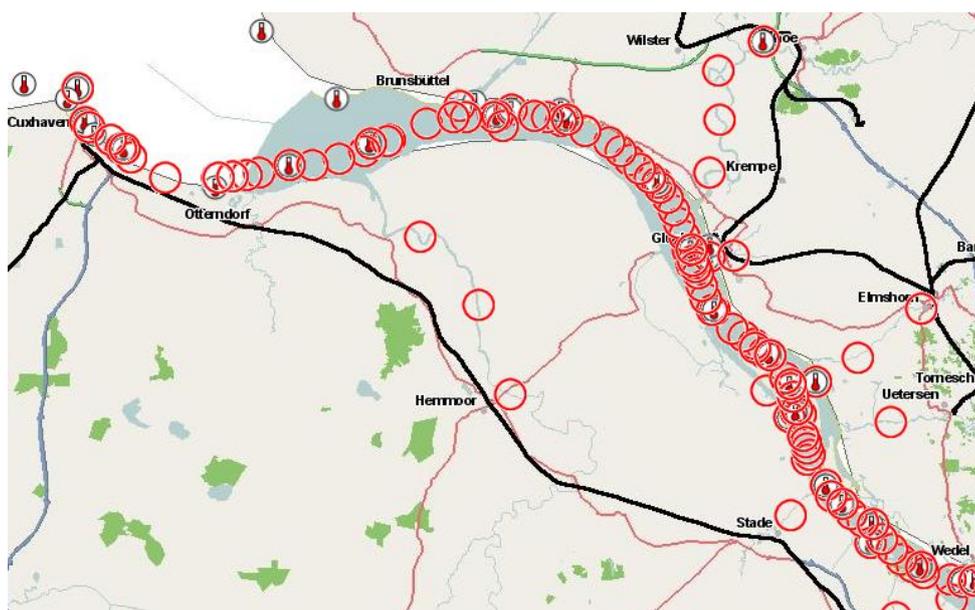


Abb. 11: Messstellen (rote Kreise) mit physikalisch-chemischen Daten der Unterelbe (FIS der FGG-Elbe: <http://www.elbe-datenportal.de>).



Das Institut für Hygiene und Umwelt betreibt seit 1988 für die Stadt Hamburg ein Wassergütemessnetz mit drei kontinuierlichen Messstationen an der Elbe (Blankenese, Seemannshöft und Bunthaus). Die Messstationen zeichnen kontinuierlich Daten zur Qualität der Gewässer auf und erfassen biologische und chemisch-physikalische Gütekenndaten wie Wassertemperatur, Sauerstoffgehalt, pH-Wert und Chlorophyllgehalt.

Der Online-Dienst ermöglicht es, auf aktuelle und in der Vergangenheit gemessene Daten zuzugreifen:

<https://gateway.hamburg.de/HamburgGateway/FVP/Application/DienstEinstieg.aspx?fid=37>

Alle wichtigen Detailinformationen zum Hamburger Wassergütemessnetz finden sich außerdem im Internet unter www.wgmn.hamburg.de.

2.4.2 Gewässerdaten der Weser

Die FGG-Weser betreibt eine Webseite mit einem Downloadbereich für Gewässerdaten (Weserdatenbank der FGG-Weser: <http://datenbank.fgg-weser.de/weserdatenbank/index.php>). Hier werden für den Zeitraum seit 1979 Daten zu physikalisch-chemischen Parametern sowie zu Nährstoffen und Schadstoffen bereitgestellt. Es handelt sich in der Regel um 14tägige Messintervalle. Für die Unterweser werden Daten der Stationen Brake, Farge, Nordenham und Bremerhaven zur Verfügung gestellt.

3 Methoden zur Validierung, Plausibilisierung und Analyse der Daten

3.1 Allgemeine Datenaufbereitung

Die vorliegenden Daten lassen sich zunächst in Vektordaten (alle Daten außer Fernerkundungs- und Modelldaten) und Rasterdaten (Fernerkundungs- und Modelldaten) unterteilen. Die Vektordaten wiederum lassen sich trennen in reine Geodaten⁹⁾ (z. B. Wasserkörper, Landflächen, Orte, ...) sowie in quantitative Daten in Form der vorliegenden Messdaten. Letztere wurden zum Zwecke einer Validierung durch das Oracle-Importmodul in einer Oracle-Datenbank zusammengeführt und anschließend in eine Microsoft Access-Datenbank migriert. Die im Shapefile-Dateiformat vorliegenden Daten konnten so verwendet werden und brauchten daher nicht weiter aufgearbeitet werden.

3.1.1 Datenaufbereitung in der Datenbank

Die im Rahmen dieser Studie verwendeten Daten stammen aus verschiedenen Quellen (siehe Kapitel 2) und lagen in verschiedenen Dateiformaten vor, entweder als Excel-Tabellen oder als Textdateien mit unterschiedlichen Textformaten. Eine Harmonisierung der Daten war notwendig im Hinblick auf die verwendete Syntax für Dezimalzeichen, Tausender-Trennzeichen, Datumsangaben und Koordinatensysteme.

Zusätzlich zur Harmonisierung war eine Validierung sowie Plausibilisierung der Daten notwendig. Mithilfe der Datenbank erfolgten im Wesentlichen folgende Arbeitsschritte:

1. Erstellung von Importroutinen für alle Dateiformate.
2. Validierung aller Daten:
 - a. Überprüfung der Angaben auf korrekte Syntax (z. B. Datumsangaben) und Schreibweise (Dezimalzeichen und Tausender-Trennzeichen) durch das Importmodul
 - b. Überprüfung der Schreibweise von eindeutigen Bezeichnern (z. B. Einleiternamen)
 - c. Plausibilität der minimalen und maximalen Werte in jeder Spalte mit numerischen Werten (Koordinaten und Messwerte)
 - d. Schreibweise der Identifier für Einleiter
3. Migration in eine Access-Datenbank, um eine einfache weitere Nutzung innerhalb des auszuliefernden ArcGIS-Projektes für den NLWKN zu gewährleisten und
4. zentrale Auswertung über dynamische Abfragen, die sowohl in der Datenbank als auch im GIS nach einer Aktualisierung der Daten automatisch aktuelle Auswertungsergebnisse erzeugen.

⁹⁾ Da die Messdaten jedoch immer mit Positionen verbunden sind und damit einen Ortsbezug haben, ist die Unterscheidung in Geodaten und andere Daten nicht ganz scharf. Grundsätzlich liegen alle Polygone und Linien sowie Punktgeometrien ohne Messdaten (z. B. Orte) als Geometrien in Shapefiles vor. Punktgeometrien mit Messdaten dagegen wurden alle in der Access-Datenbank zusammengefasst. Dadurch wird für die Attributdaten der Punktgeometrien eine automatische Aktualisierung des ArcView-Projektes nach Aktualisierung der Datenbank gewährleistet.

3.1.2 Datenaufbereitung mit einem GIS-Programm (ArcGIS-ArcView)

Mit dem GIS-Programm ArcView wurden folgende Aufgaben durchgeführt:

1. Harmonisierung der Geodaten in Bezug auf die verwendeten Koordinatensysteme (Gauß-Krüger 3, WGS84, ETRS UTM32) unter Verwendung der für Niedersachsen spezifischen Transformationen (TRS_1989_To_WGS_1984+DHDN_To_ETRS_1989_8_NTv2), d. h. Umrechnung der Koordinaten in ETRS UTM32 (siehe Abb. 12).
2. Zuordnung der Referenzzeitreihen zu den Einleitern, zur Abschätzung der Referenz-Wassertemperatur bei der Entnahme
3. Zuordnung der Einleiter zu den Wasserkörpern, zur Aggregation der Wärmeeinträge pro Wasserkörper.

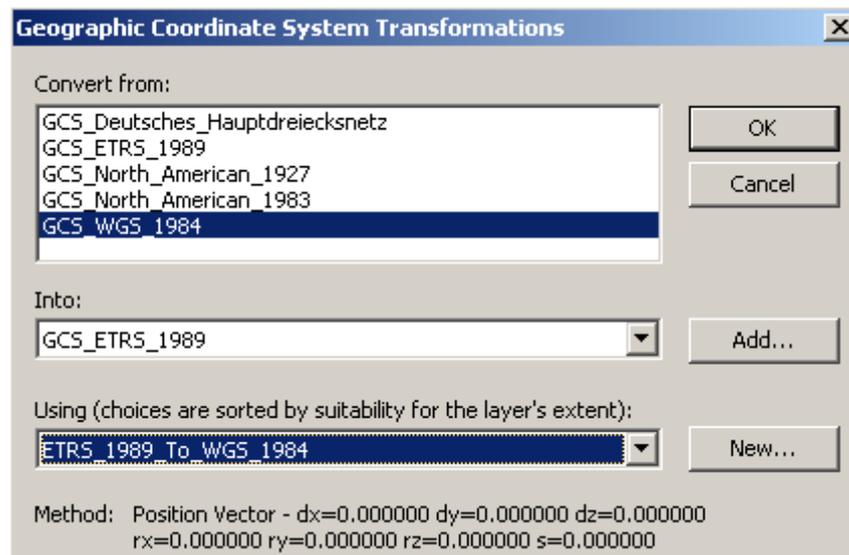
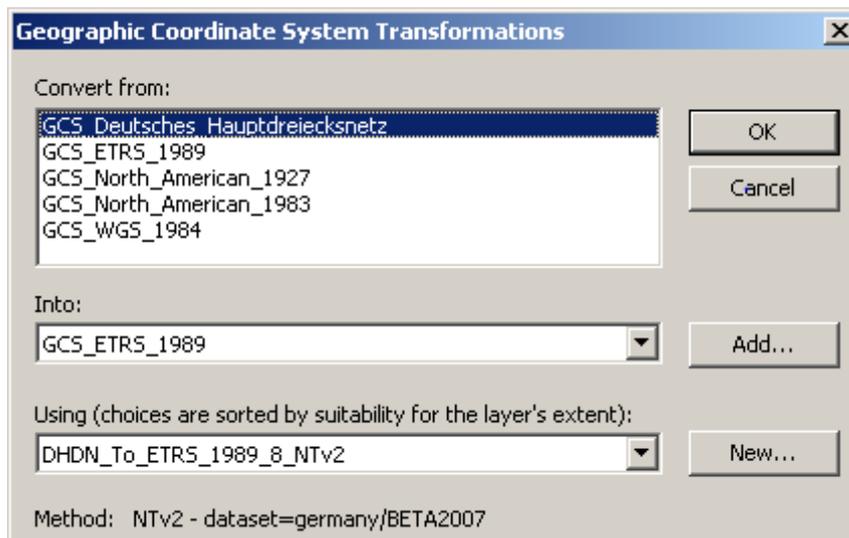


Abb. 12: ArcView-Dialoge zur Festlegung der Koordinatentransformationen: Dialog für die Umrechnung von Gauß-Krüger 3 (GCS_Deutsches_Hauptdreiecksnetz) nach ETRS-UTM 32 Nord (GCS_ETRS_1989, obere Abbildung) und Dialog für die Umrechnung von WGS84 (GCS_WGS_84) nach ETRS-UTM 32 Nord (untere Abbildung) ¹⁰⁾

¹⁰⁾ Der Dialog wird über die Registerkarte „Coordinate System“ im Dialog der Karten-Eigenschaften geöffnet (Button „Transformations“).

3.2 Berechnung der eingeleiteten Wärmeenergie

Zu den Informationen über Wärmeeinträge lagen, je nach Einleiter, Angaben zu unterschiedlichen Parametern vor. Die Wärme wurde entweder als Kühlwasservolumen bzw. als Durchflussrate und Aufwärmspanne oder als thermische Wärmeenergie angegeben. Außerdem schwankt die zeitliche Auflösung zwischen einem Tag bis zu einem Jahr.

Um die verschiedenen Wärmeeinleitungen vergleichbar zu machen, wurden für alle Einleiter die Energiemengen berechnet bzw. geschätzt, die pro Jahr in die betreffenden Wasserkörper eingeleitet wurden. Die verwendeten Formeln und Schätzwerte sind in Tab. 12 aufgeführt.

Angaben aus der Landes-Datenbank (LDB)

Um für die in der LDB enthaltenen Einleitungen die Wärmeenergie zu bestimmen, wurde jeweils die Temperaturdifferenz zwischen dem entnommenen und dem zurückgegebenem Wasser benötigt. Die Temperaturen des entnommenen Wassers waren jedoch nur für das KKW Unterweser bekannt. Für alle weiteren Einleiter wurden die Jahresmittel der nächstgelegenen Temperatur-Dauermessstationen als Referenz-Temperaturen verwendet. Dabei wurde soweit möglich eine flussaufwärts gelegene Station verwendet. Falls sich negative Werte ergaben, wurden diese vernachlässigt und gleich Null gesetzt.

Die zu den Einleitern gewählten referenzorte und –temperaturen stehen in Tab. 56.

Einleitungsgenehmigungen der Umweltbehörde Bremen

Für die Wärmeeinleitungen der Bremer Betriebe lagen lediglich die genehmigten maximalen Volumina und die maximalen Temperaturdifferenzen vor. Daraus lässt sich die Wärmemenge berechnen, die maximal eingeleitet werden darf. Für die Berechnung wurde dieselbe Formel verwendet, wie für die LDB-Angaben, wobei als Temperaturdifferenz die genehmigte maximale Temperaturdifferenz verwendet und eine Ausnutzung der genehmigten Wärmemenge von 80 % angenommen wurde.

Für die Kraftwerke der swb lagen zusätzlich zu den Genehmigungen auch konkrete Angaben des Betreibers vor (siehe Tab. 13), so dass die hier beschriebene Berechnung für diese Daten nicht angewendet werden musste.

Kohlekraftwerk Wilhelmshaven

Das Kohlekraftwerk in Wilhelmshaven leitet das Kühlwasser in den Jadebusen ein. Zu Beginn der Studie lagen jedoch keine Angaben über die Wärmeeinträge vor, so dass die Einträge geschätzt werden mussten. Nimmt man für das Kohlekraftwerk eine Effizienz von 45 % an (nach heutigem Stand der Technik), so beträgt die entstehende Wärmeenergie:

$$\text{Energie}_{\text{therm}} = \text{Energie}_{\text{elektr}} * 55 / 45 = \text{Energie}_{\text{elektr}} * 1,22$$



Tab. 12: Formeln zur Berechnung der von den Einleitern jährlich in die Gewässer eingetragenen Wärmeenergie. Als Standardformel dient die Formel für die Wärmeenergie ($Q = c * m * T$; wobei Q = Wärmeenergie und c = spezifische Wärmekapazität). Dabei wurde in allen Fällen von einer Dichte des Wassers = $10^6 \text{ g} / \text{m}^3$ ausgegangen. Eine salzgehaltsbedingte Erhöhung der Dichte wurde nicht berücksichtigt, da sie zwar einen Einfluss auf die Wärmemenge hat, jedoch für die Zwecke dieser Studie zu geringfügig erschien. Für Kernkraftwerke wird eine Effizienz von 35 und für Kohlekraftwerke eine Effizienz von 45 % (heutiger Stand der Technik¹¹) angenommen werden. Außerdem wird davon ausgegangen, dass die Werte für genehmigtes Volumen * maximale Temperaturdifferenz zu insgesamt 80 % ausgenutzt werden.

Einleiter	Parameter		Formeln für die Berechnung der Wärmeenergie [J]
	Jahresvolumen [m^3/a]	Mittlere Wassertemperatur des Rücklaufs [$^{\circ}\text{C}$]	
	Genehmigtes Volumen [m^3/a]	Genehmigte Temperaturdifferenz [K]	
		Kraftwerksleistung [MW]	
		Kraftwerkstyp	
		Wärmeenergie [GWh]	
- Einleitungen (Quelle: Landesdatenbank), - Kraftwerke Brokdorf und Unterweser	X	X ¹²	$\text{Vol} [\text{m}^3] * 1 \text{ g/ml} * dT [\text{K}] * 4,182 \text{ J}/(\text{g} * \text{K})$, wobei: $dT = T_{\text{rueck}} - T_{\text{ref}}$
Einleitungsgenehmigung der Umweltbehörde Bremen		X X	$\text{Auslastung} * \text{Vol}_{\text{max}} [\text{m}^3] * 1 \text{ g/ml} * dT_{\text{max}} [\text{K}] * 4,182 \text{ J}/(\text{g} * \text{K})$
Kraftwerk Wilhelmshaven			$(100 - \text{Effizienz}) / \text{Effizienz} * 0,8 * \text{Leistung} [\text{Watt}] * t [\text{s}]$, wobei: $t = (365 * 24 * 3600 \text{ s})$
swb-Kraftwerke			$\text{Wärmeenergie} [\text{GWh}] * 3600 \text{ s/h}$

¹¹) Quelle: Siemens

(http://www.siemens.com/innovation/de/publikationen/zeitschriften_pictures_of_the_future/pof_fruehjahr_2008/energie/effiziente_kraftwerke.htm)

¹²) Die mittlere Wassertemperatur wurde aus Quartalsmessungen abgeleitet.

Um abzuschätzen, wie genau die „Schätz“-Ergebnisse unter Verwendung der Jahresdurchschnittstemperatur an einer in der Nähe gelegenen Dauermessstation sind, wurde die Methode für die swb-Kraftwerke getestet. Für diese KW liegen für den Zeitraum sowohl die tatsächlich jährlich eingeleiteten Wärmemengen, als auch das Jahresmittel der Wassertemperatur des Rücklaufs (T_{rueck}) und das Jahresvolumen des Rücklaufs ($\text{Vol}_{\text{rueck}}$) vor. Kennt man das Jahresmittel der Einlaufftemperatur (T_{ein}), so kann, genauso wie für die Angaben der LDB und die Genehmigungen der Umweltbehörde Bremen - aus den Angaben T_{rueck} und $\text{Vol}_{\text{rueck}}$ die eingeleitete Wärmemenge abgeschätzt werden:

$$\text{Wärmemenge} = 1 \text{ g / ml} * \text{Vol}_{\text{rueck}} * (T_{\text{rueck}} - T_{\text{ein}}) * 4,182 \text{ J/(g *K)}$$

Im Falle der swb-Kraftwerke wurde für die Einlaufftemperatur der Jahre 2009 bis 2012 eine mittlere Temperatur von 12 °C angenommen. Dieser Wert wurde aus den Temperatur-Daten des WSA-BHV geschätzt.

Die betreffenden Angaben sind in Tab. 13 aufgeführt und Abb. 13 stellt die Ergebnisse der Regression und Korrelation zwischen den geschätzten Wärmemengen (Y-Achse) und den vom Betreiber genannten Angaben (X-Achse) dar. Insgesamt ergibt sich eine gute Übereinstimmung mit einer leichten Überschätzung der eingeleiteten Wärmeenergie um ca. 12 %. Dieses Ergebnis stützt die Annahme, dass die Verwendung der Referenztemperaturen als Einlaufftemperaturen zur Abschätzung der Wärmemengen für die Zwecke dieser Studie plausibel ist. Da das Wasser im Bereich der Einleitung jedoch bereits leicht erhöht sein kann, ergibt sich unter Umständen eine leichte Überschätzung der Wärmemenge.

Tab. 13: Jährlich eingeleitete Wärmeenergie der swb-Kraftwerke (2009 – 2012): Angegeben sind die Jahresmittel der Rücklauf-Volumina und der Rücklauf-Temperatur (a) sowie die geschätzte und die vom Betreiber swb angegebene Wärmeenergie (b).

(a)

Kraftwerk / Block	Rücklauf-Volumina				Rücklauf-Temperaturen			
	2009	2010	2011	2012	2009	2010	2011	2012
SWB Hafen Block 5	145434005	160681464	150471545	144677779	18.1	17	17.4	17.2
SWB Hafen Block 6	253537968	241009584	253848984	246885456	21.0	19.5	20.2	20.0
MKK		61728417	65831122	70574966	21.9	22.0	22.4	22.2
SWB Hastedt Block 14	47436432	58762632	37073640	9900240	19.2	15.8	13.1	16.3
SWB Hastedt Block 15	73694534	79117862	92876371	99073066	19.1	18.9	19.6	19.1
SWB Mittelsbüren Block 3	105891074	105389858	106356372	11087336		20.1	20.1	21.1
SWB Mittelsbüren Block 4	72567996	163009087	144997490	69630425		15.8	17.3	16.5

(b)

Kraftwerk / Block	Jährliche Wärmeenergie geschätzt (Joule)				Jährliche Wärmeenergie laut Betreiber (Joule)			
	2009	2010	2011	2012	2009	2010	2011	2012
SWB Hafen Block 5	3.71 E+15	3.36 E+15	3.40 E+15	3.15 E+15	1.28 E+15	8.75 E+14	8.19 E+14	6.06 E+14
SWB Hafen Block 6	9.53 E+15	7.52 E+15	8.69 E+15	8.30 E+15	8.44 E+15	7.57 E+15	7.93 E+15	7.60 E+15
MKK	0.00 E+00	2.59 E+15	2.85 E+15	3.00 E+15	1.07 E+15	1.67 E+15	1.69 E+15	1.78 E+15
SWB Hastedt Block 14	1.43 E+15	9.34 E+14	1.71 E+14	1.78 E+14	1.31 E+15	9.10 E+14	9.31 E+14	2.32 E+14
SWB Hastedt Block 15	2.19 E+15	2.28 E+15	2.95 E+15	2.94 E+15	1.82 E+15	1.95 E+15	2.53 E+15	2.61 E+15
SWB Mittelsbüren Block 3		3.57 E+15	3.60 E+15	4.22 E+14		3.44 E+15	2.89 E+15	3.43 E+14
SWB Mittelsbüren Block 4		2.59 E+15	3.21 E+15	1.31 E+15		2.39 E+15	2.25 E+15	8.16 E+14

Mittlere eingeleitete Wärmeenergie pro Jahr für 2009-2012

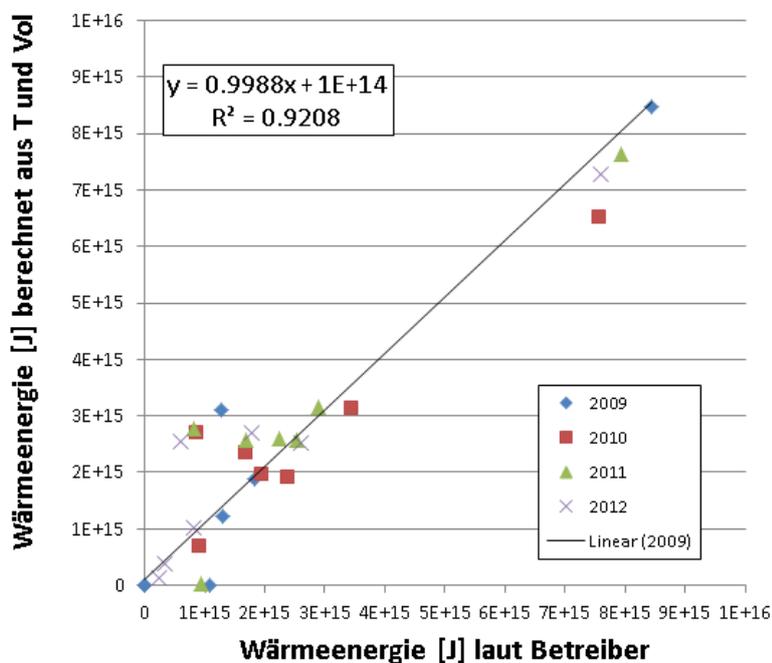


Abb. 13: Jährlich eingeleitete Wärmeenergie der swb-Kraftwerke (2009 – 2012): Dargestellt ist die Wärmeenergie, die über die geschätzte Temperaturdifferenz (= Jahresmittel Rücklauf – geschätztes Jahresmittel für Einlauf von 12 °C) und die jährlichen Rücklauf-Volumina geschätzt wurde (Y-Achse), in Abhängigkeit von den Angaben des Betreibers (X-Achse).

Eine weitere Möglichkeit, den Zusammenhang zwischen der Leistung eines Kraftwerkes und dem Wärmeeintrag anhand der vorliegenden Daten zu illustrieren, ist ein Vergleich der Leistungen für die beiden Kernkraftwerke Brokdorf und Unterweser mit den bekannten jährlich eingeleiteten Wärmemengen. Die betreffenden Angaben sind in Tab. 14 dargestellt. Die mittlere jährliche Wärmeenergie des Kühlwassers betrug für die Jahre 2009 bis 2012 das 1,5- bzw. 1,7-fache der erzeugten elektrischen Energie, die sich aus der Nenn-Leistung der Kraftwerke ergibt. Nimmt man für eine ungefähre Abschätzung der produzierten Wärmemenge eine Effizienz von 33 % an (¹³), so müsste der Faktor 2 betragen. Dieser erhaltenen Werte von 1,5 und 1,7 lassen sich über einen Ausnutzungsgrad der beiden Kraftwerke von ca. 80 % erklären. Diese kann – abgesehen von einer Ungenauigkeit in der

¹³) Angabe aus: <https://de.wikipedia.org/wiki/Wirkungsgrad>

Abschätzung der Effizienz - durch Phasen erklärt werden, in denen sich die Kraftwerke außer Betrieb befanden (siehe Abb. 14).

Tab. 14: Von den Kernkraftwerken Brokdorf und Unterweser erzeugte Wärmeenergie und die gewonnene elektrische Energie gemäß Nenn-Leistung.

Kraftwerk	Mittlere jährliche Wärmeenergie des Kühlwassers (2009-2012)	Leistung [MW]	Elektrische Energie [J]	Verhältnis
KKW Brokdorf KW	6.71 E+16	1410	4.45 E+16	1.51
KKU Kühlwasser	7.51 E+16	1345	4.24 E+16	1.77

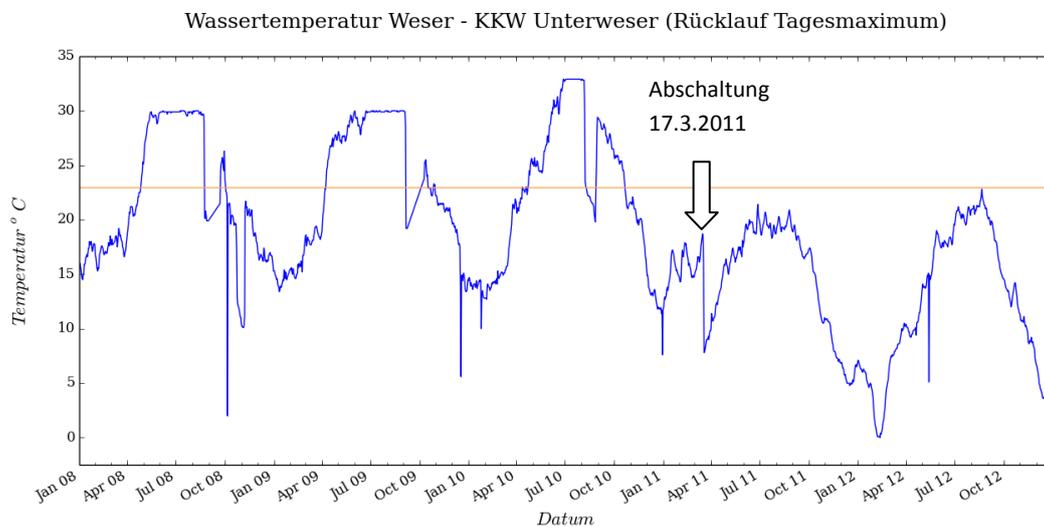
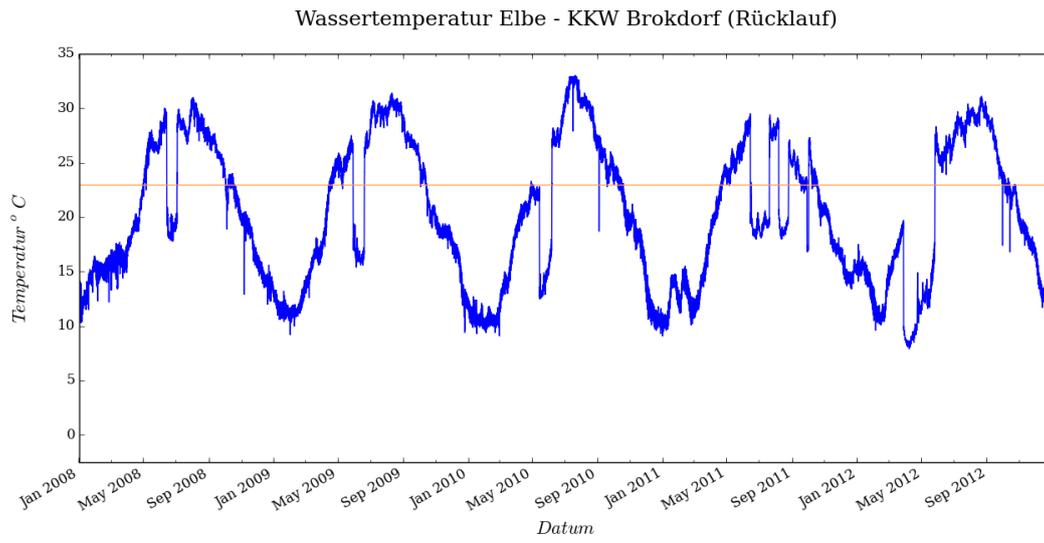


Abb. 14: Zeitserien der Kühlwasser-Temperatur für die beiden Kernkraftwerke Brokdorf und Unterweser (Quelle: E.ON via NLWKN).

3.3 Aufbereitung der Fernerkundungsdaten

3.3.1 Herleitung der Temperatur

Landsat und (A)ATSR bzw. MODIS Daten bedürfen unterschiedlicher Bearbeitungsschritte, die im Folgenden kurz beschrieben werden.

Landsat

Am Satellitensensor wird im thermalen Kanal die von der Erdoberfläche emittierte Wärmestrahlung gemessen. Im Falle des thermalen Kanals handelt es sich hierbei um die Energie des Wellenlängenbereichs 10,42 - 12,5 μm . Die am Sensor gemessene Energie wird in so genannte Counts abgespeichert, die mit Hilfe einer Umrechnungsformel wieder in Strahlungsenergie zurückgerechnet werden können. Diese Formel ist für jeden Kanal bekannt und lautet für Landsat 5:

$$L = a * DN + b$$

mit L = Strahlungsenergie
 DN = Digital Count
 a = 0,0370588
 b = 3,2

Um von der Energie auf die Temperatur zu schließen bedarf es einer weiteren Umrechnung. Da die Energie auf dem Weg von der Erdoberfläche den Weg durch die Atmosphäre nehmen muss, auf dem es durch Streu- und Absorptionsprozesse zu einer Veränderung der Energie kommt, ist die hier berechnete Temperatur die sogenannte effektive Temperatur am Satelliten. Dies ist nicht die tatsächliche Oberflächentemperatur. Da jedoch auf einem kleinen Gebiet wie dem Untersuchungsgebiet einheitliche atmosphärische Bedingungen angenommen werden können, sind die räumlichen Unterschiede der effektiven Temperatur in guter Näherung gleich mit den räumlichen Unterschieden der Oberflächentemperatur; dies ist für jede Aufnahme visuell zu prüfen. Für Wasserflächen kann die Annahme eines schwarzen Körpers in Bezug auf die Emissivität getroffen werden. Die Umrechnung von Energie zu Temperatur (Kelvin) erfolgt mit:

$$T [K] = \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L} + 1\right)}$$

mit T [K] = Temperatur in Kelvin
 K1 = 666,09
 K2 = 1282,71
 L = Strahlungsenergie

Die Umrechnung von Kelvin in °Celsius erfolgt mit:

$$T [^{\circ}\text{C}] = T [K] - 273.15$$

Die so berechneten Temperaturwerte wurden mit einer einheitlichen Farbskala belegt, die immer einen Temperaturbereich von 6 K abdeckt und somit zwischen den verschiedenen Aufnahmen gleiche relative Temperaturfarbverläufe aufweist. Die Landbereiche werden durch einen optischen Kanal (nahes Infrarot) in Grautönen dargestellt. Abb. 15 zeigt zwei Beispiele der Sensoren von Landsat 8 und 7 für den Jadebusen. Die linke Abbildung stammt vom Landsat 8 TIRS Sensor, während das rechte Bild eine

Landsat 7 ETM Aufnahme zeigt. Die Streifen sind in allen Aufnahmen des Landsat 7 seit 2003 enthalten und werden durch einen Sensorfehler verursacht.

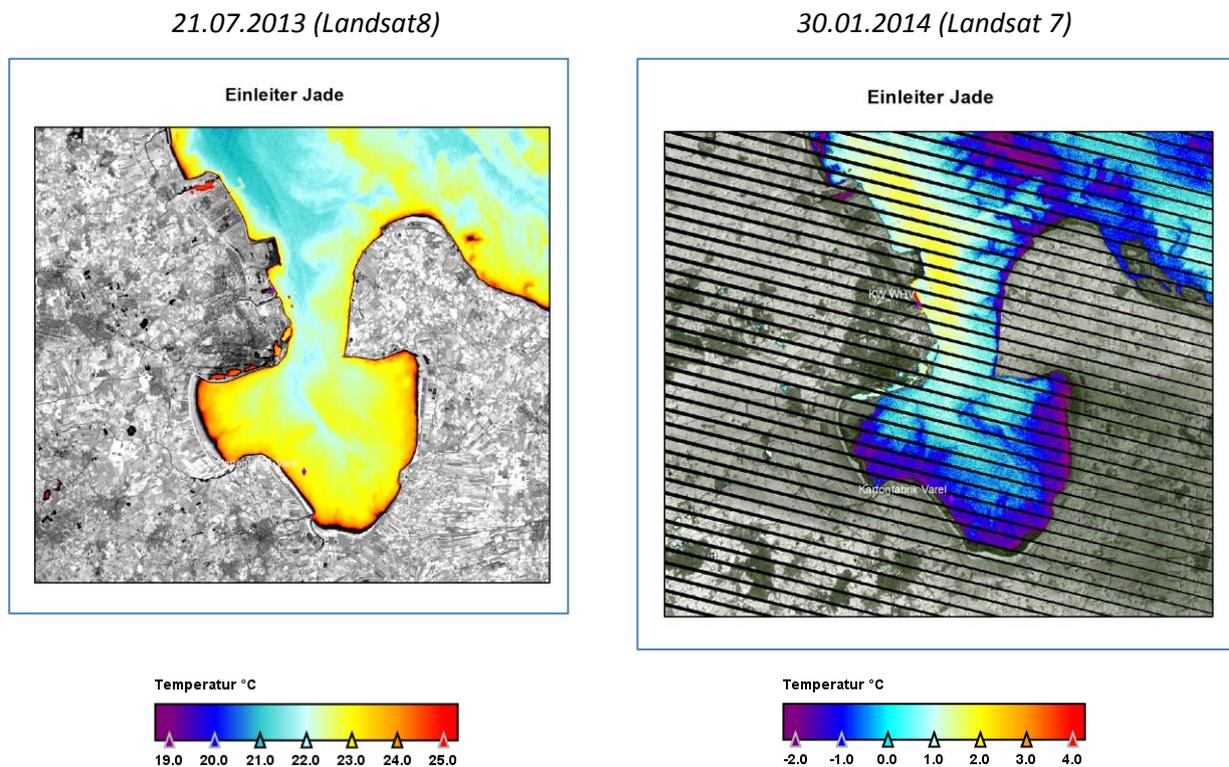


Abb. 15: Beispiele für die Temperaturdarstellungen im Jadebusen mit einheitlichen relativen Farbpaletten.

(A)ATSR und MODIS

Bei (A)ATSR- und MODIS Daten werden von den gemessenen „Brightness Temperature“-Werten bereits standardmäßig Oberflächentemperaturen (SST) berechnet. Hierbei erfolgt auch eine Korrektur der atmosphärischen Einflüsse und eine Wolkenmaske sorgt für die Ausmaskierung von gestörten Wasserpixeln. SST wird mit der sogenannten split-window Methode bestimmt, bei der die thermale Strahlung in zwei separaten Aufnahmekanälen gemessen wird, bei denen angenommen wird, dass der atmosphärische Einfluss gleich ist. Dadurch kann der Anteil, der durch die Atmosphäre beigetragen wird, rechnerisch eliminiert werden. Die entsprechenden Algorithmen können in den technischen Beschreibungen des AATRS Sensors nachgelesen werden ¹⁴).

3.3.2 Validierung und Plausibilitätsprüfung der FE-Daten

Vergleich der räumlich grob aufgelösten FE-Daten mit Zeitserien der Wassertemperatur

Die räumlich grob aufgelösten SST Daten wurden zur Validierung mit in situ Zeitreihen verglichen, da hier die tatsächliche Temperatur aus den Daten gewonnen werden kann und diese Daten zwar räumlich grob aber dafür zeitlich sehr hoch aufgelöst sind. Die Zeitreihen an verschiedenen Messstationen des

¹⁴) <https://earth.esa.int/handbooks/aatsr/CNTR2-7-1.htm> und <https://earth.esa.int/handbooks/aatsr/CNTR2-7-1.htm#eph.aatsr.prodalg.l2prod.l2alg.dergridprod.sstretr>

Niedersächsischen Messnetzes und die aus der FE bestimmten Temperaturen sind in den folgenden Abbildungen (Abb. 16 bis Abb. 17) dargestellt.

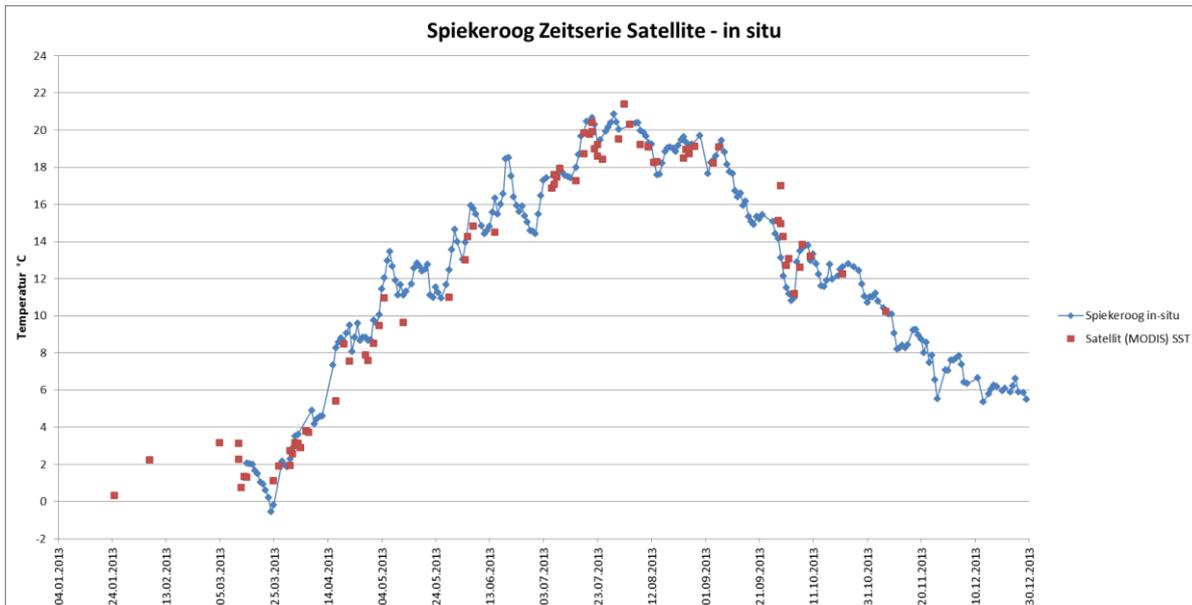


Abb. 16: Vergleich von SST vom Satelliten (rote Quadrate) und in-situ Temperaturmessungen (blaue Rauten) bei der Messstation Spiekeroog.

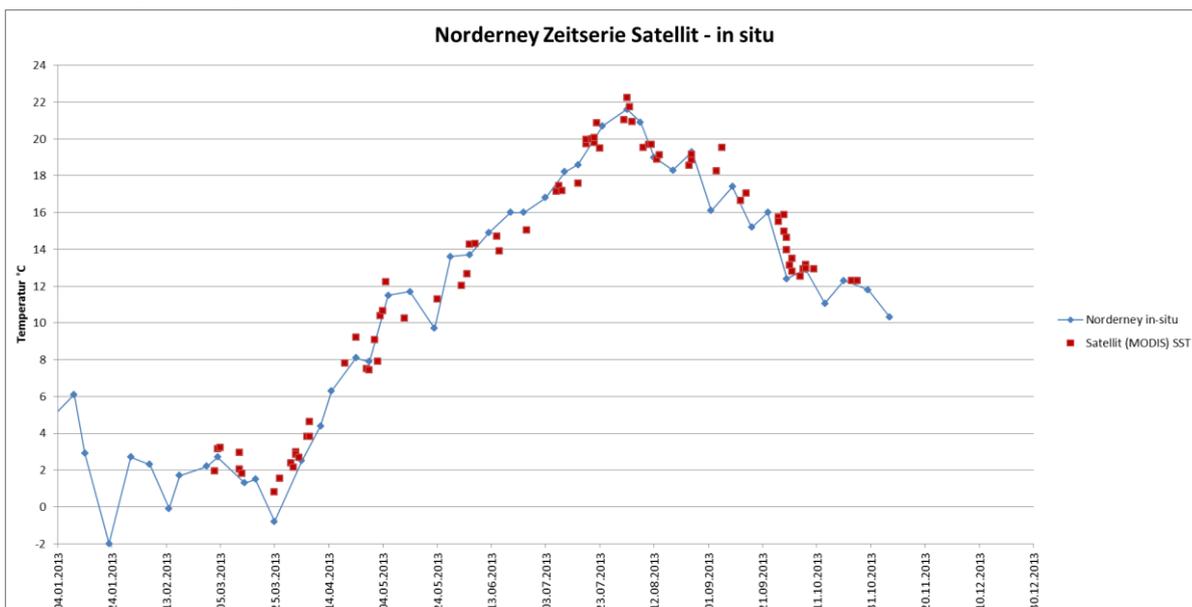


Abb. 17: Vergleich von SST vom Satelliten (rote Quadrate) und in-situ Temperaturmessungen (blaue Rauten) bei der Messstation Norderney.

Die Übereinstimmung zwischen in situ Temperatur und Satellit SST ist sehr gut. Allerdings können aus diesen grob aufgelösten Satellitendaten keine kleinräumigen Strukturen erkannt werden. Aber der Vergleich beider Datensätze zeigt das Potenzial der Satellitendaten, da diese Information, die hier für 1 Pixel in der Zeit dargestellt ist, auch für die Fläche zur Verfügung steht. Langjährige Trends können somit über große Flächen hinweg bestimmt werden.

Vergleich der Wärmefahnausdehnungen aus räumlich hoch aufgelösten FE-Daten mit Längsprofilen der Wassertemperatur in der Weser

Um zu überprüfen, ob die räumliche Erfassung der Temperaturfahnen aus den hoch aufgelösten Fernerkundungsdaten möglich ist, wurden Längsprofile durch erkennbare Kühlwasserfahnen gelegt und

diese mit den in situ gemessenen Längsprofilen des WSA-Bremerhaven verglichen. Abb. 18 zeigt das Längsprofil der Wassertemperatur aus einer Landsat 5-Aufnahme vom 15.10.2009. Es zeigt einen charakteristischen Verlauf, der auch in den in situ gemessenen Längsprofilen zu finden ist. Leider liegt kein gemessenes Längsprofil aus dem Zeitraum um den 15.10.2009 vor. Daher wurden zum Vergleich drei Längsprofile gewählt, bei denen das KKW über die vorangegangenen 10 Tage einen ähnlichen Wärmeeintrag aufwies. Im Zeitraum vom 6.10. bis zum 15.10.2009 betrug das mittlere Produkt aus Volumen [m³] und Temperaturdifferenz [K] 34,48 Mio. m³ K. In Abb. 19 sind drei Längsprofile auf entsprechende Werte zwischen 28,60 und 43,00 Mio. m³ K dargestellt. Da die Landsat-Aufnahme zur Tidephase 0 h 25 min nach Hochwasser aufgenommen wurde (Nordenham), entsprechen sich auch die Tidephasen der Landsat-Aufnahme und der drei Längsprofile in etwa. Die Probenahmen beim Kraftwerk KKW erfolgte zwischen 1 bis 2,5 h nach Hochwasser (bezogen auf Nordenham).

In allen vier Fällen nimmt die Wassertemperatur zwischen dem Flusskilometer 40 und 60 um 1 bis 1.5 °C ab und auch der Temperaturpeak auf der Höhe des KKW ist mit der FE erkennbar. Auffällig an dem Längsprofil aus den Satellitendaten ist, dass die Temperaturangaben in Schritten von 0.33 Grad erfolgen, was im Vergleich zu insitu-Messungen eine sehr grobe quantitative Auflösung ist (zur radiometrischen Auflösung von Landsat-Temperatur-Daten siehe Tab. 7). Jedoch sind die Temperaturtrends gut erkennbar.

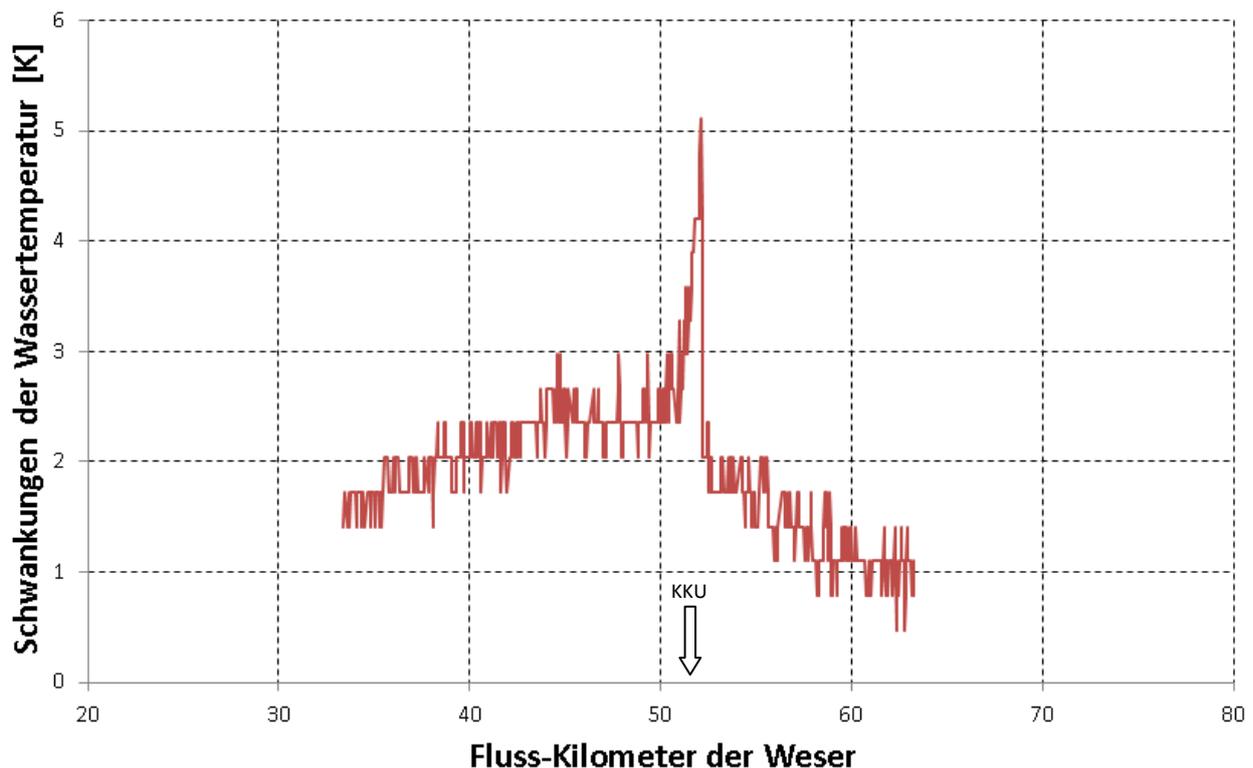


Abb. 18: Längsprofil der Wassertemperatur auf seiner Landsat 5-Aufnahme vom 15.10.2009: Dargestellt sind Unterschiede in der Wassertemperatur [K] in Abhängigkeit vom Flusskilometer.

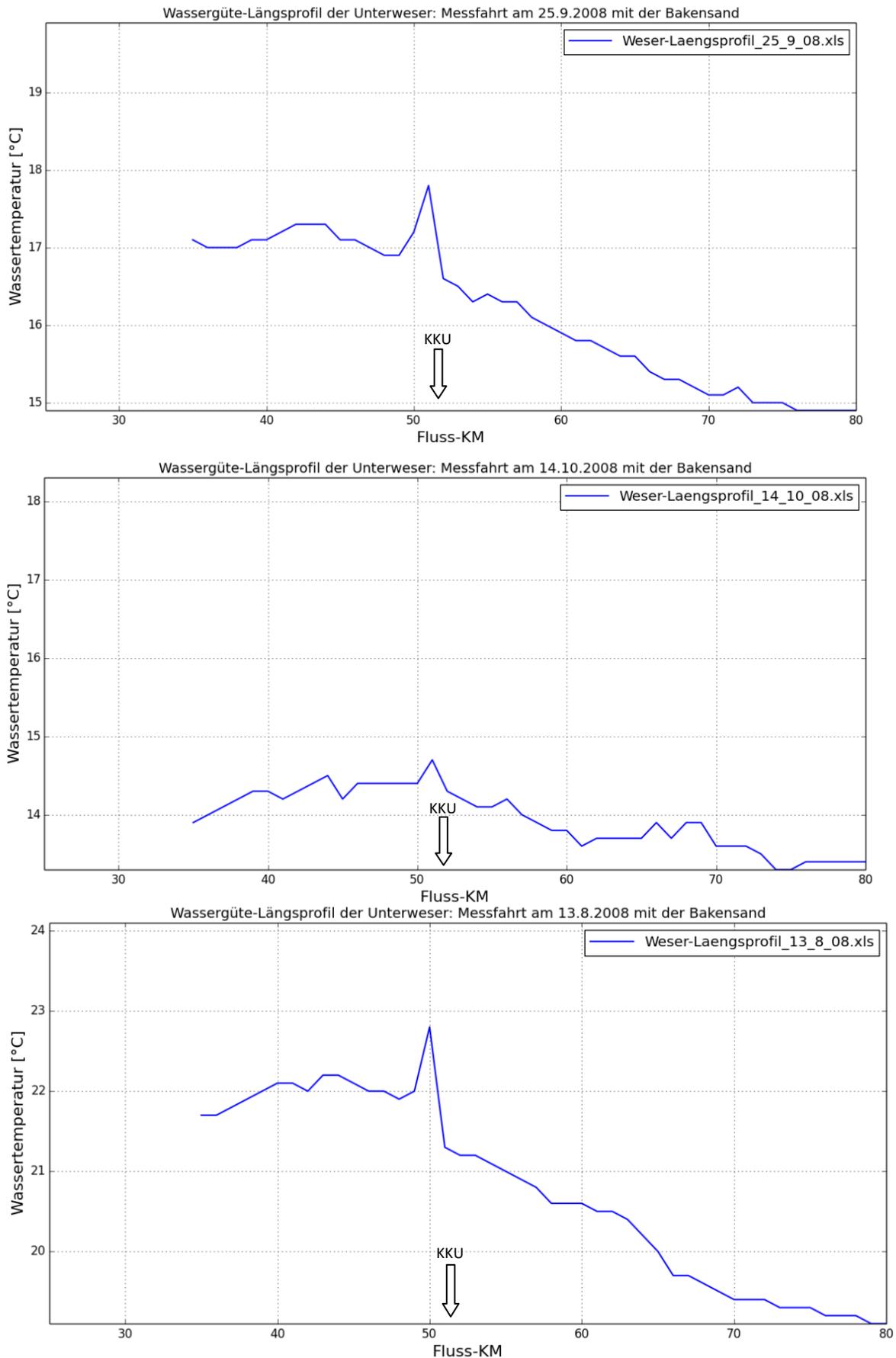


Abb. 19: Längsprofil der Wassertemperatur in der Weser: Dargestellt sind Längsprofile, die zu einem Zeitpunkt aufgenommen wurden, an dem der Wärmeeintrag durch das KK-Unterweser ähnlich hoch war wie zu dem Zeitpunkt der Landsat-Aufnahme am 15.10.2009 (siehe Abb. 16).

*Plausibilitätsprüfung von Wärmefahnen mit Zeitserien der Wärmeeinleitungen
(KKW Brokdorf und Unterweser)*

Über die Wärmeeinträge des KKW liegen Tageswerte für den Zeitraum von 2009 bis 2012 vor. Anhand dieser Zeitserien lassen sich die Satellitenaufnahmen sehr gut interpretieren (siehe Abb. 20). An den zwei Terminen 15.10.2009 und 27.6.2010 fanden die Satellitenaufnahmen jeweils zu einem Zeitpunkt mit hohem Eintragsvolumen (> 5 Mio. m³/d) durch das KKW statt und die Wärmefahnen sind deutlich zu erkennen. Dagegen ist am 11.4.2011 in einer Phase mit sehr geringem Wärmeeintrag in der Unterweser entsprechend keine Wärmefahne zu sehen. In den drei vorliegenden Fällen entsprechen sich die FE-Bilder und Eintragsdaten sehr gut.

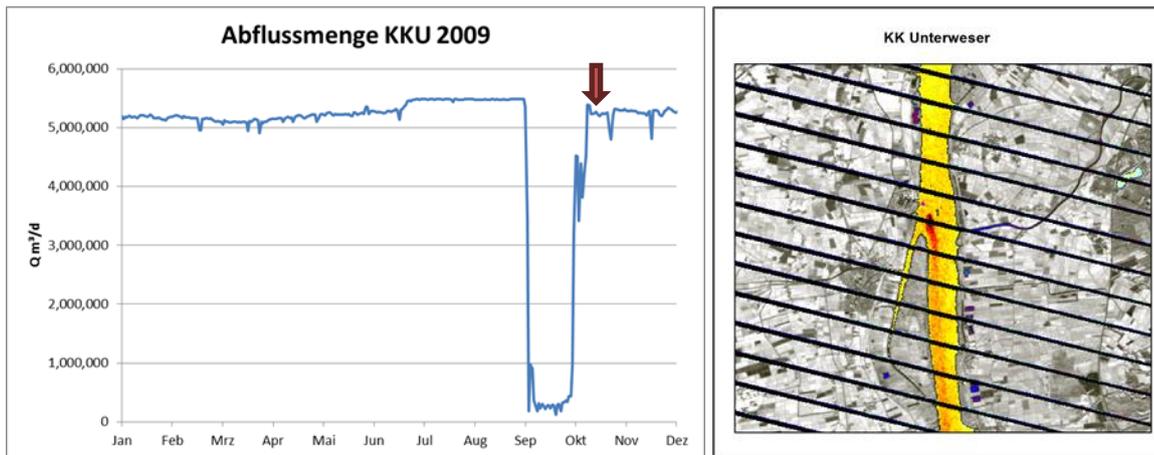
3.4 Darstellung der Daten und Analyseergebnisse

Die vorliegenden Messdaten sowie Abfrageergebnisse (z. B. zeitlich aggregierte Mittelwerte) wurden entweder über Python-Skripte in Form von XY-Diagrammen grafisch oder mit ArcGIS in Kartenausschnitten dargestellt. In einzelnen Fällen wurden Diagramme mit Microsoft Excel erzeugt.

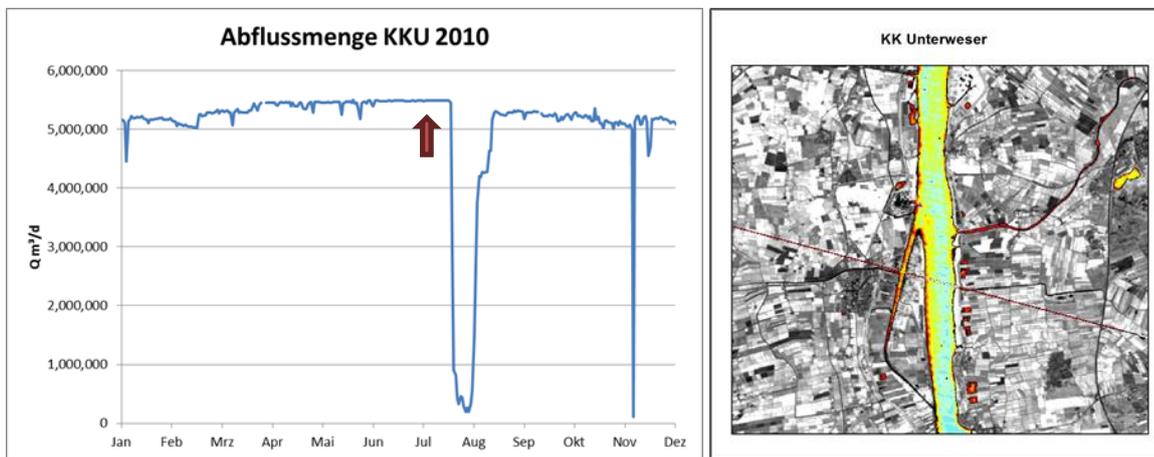
Die in diesem Dokument dargestellten Kartenausschnitte sind alle Teil eines ArcGIS-Projektes, das einen wesentlichen Bestandteil dieser Studie darstellt und nach Fertigstellung weiter durch den NLWKN genutzt werden kann.

Alle erzeugten Daten befinden sich entweder in diesem Dokument und/oder werden zusammen mit dem ArcView-Projekt auf einer CD bereitgestellt.

15.10.2009



27.06.2010



11.04.2011

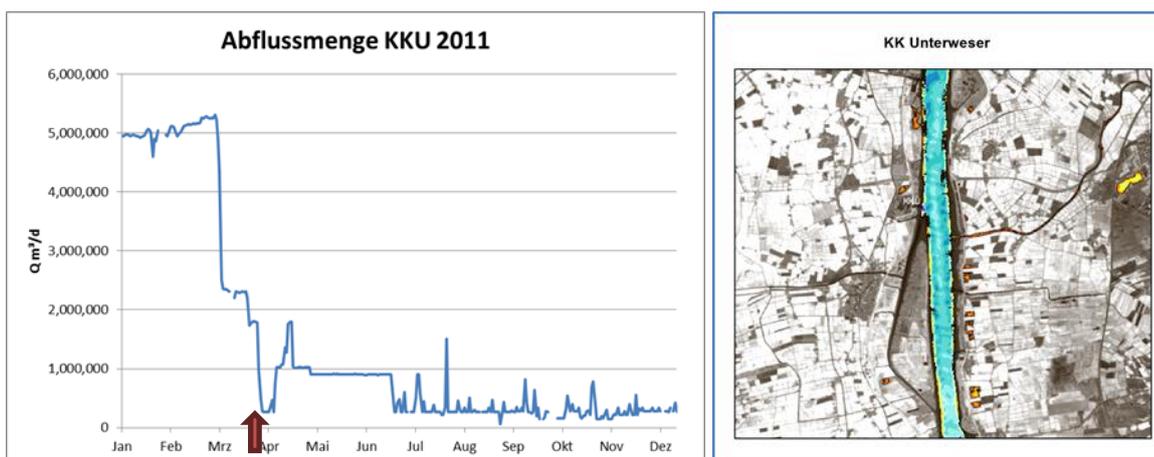


Abb. 20: Wärmeeinträge durch das Kernkraftwerk Unterweser: Dargestellt sind Zeitserien der Wärmeeinträge [m³ / d] für die Jahre 2009 (oben), 2010 (mittig) und 2011 (unten) sowie Satellitenszenen vom 15.10.2009, 27.6.2010 und 11.4.2011. Die betreffenden Zeitpunkte sind in den Diagrammen der Zeitserien markiert.

4 Ergebnisse

4.1 Wärmeeinträge

Die mittlere jährliche Wärmeenergie des Kühlwassers aller Einleiter, die im Rahmen dieser Studie berücksichtigt wurden, schwankt über mehr als 6 Größenordnungen von 10 Giga (jeweils durch KKW Kondensatentsalzung, NEAG Brake Neutralisation und NWO Sanitärabwasser) bis maximal 67 Peta Joule (durch das KKW Brokdorf). Zur Illustration sind die jährlichen Wärmeeinleitungen aller berücksichtigten Einleiter in Abb. 21 als Balkendiagramm dargestellt. Man erkennt deutlich die größten drei Einleiter:

1. das EON-Kraftwerk WHV,
2. das KKW Brokdorf,
3. das KKW-Unterweser (KKU) sowie
4. in der limnischen Unterweser die Beiträge durch die Bremischen Kraftwerke im Bereich bis zu 10 Peta Joule/a.

Die Einleiter sind nach Gewässern gruppiert und nach ihrer Lage sortiert dargestellt, d. h. an der Küste entlang von Westen nach Osten und an den Fließgewässern flussabwärts.

Die Einträge in jeden einzelnen Wasserkörper sind zur besseren Übersicht im Anhang auch in separaten Diagrammen dargestellt (Kapitel 12.1.4 im Anhang).

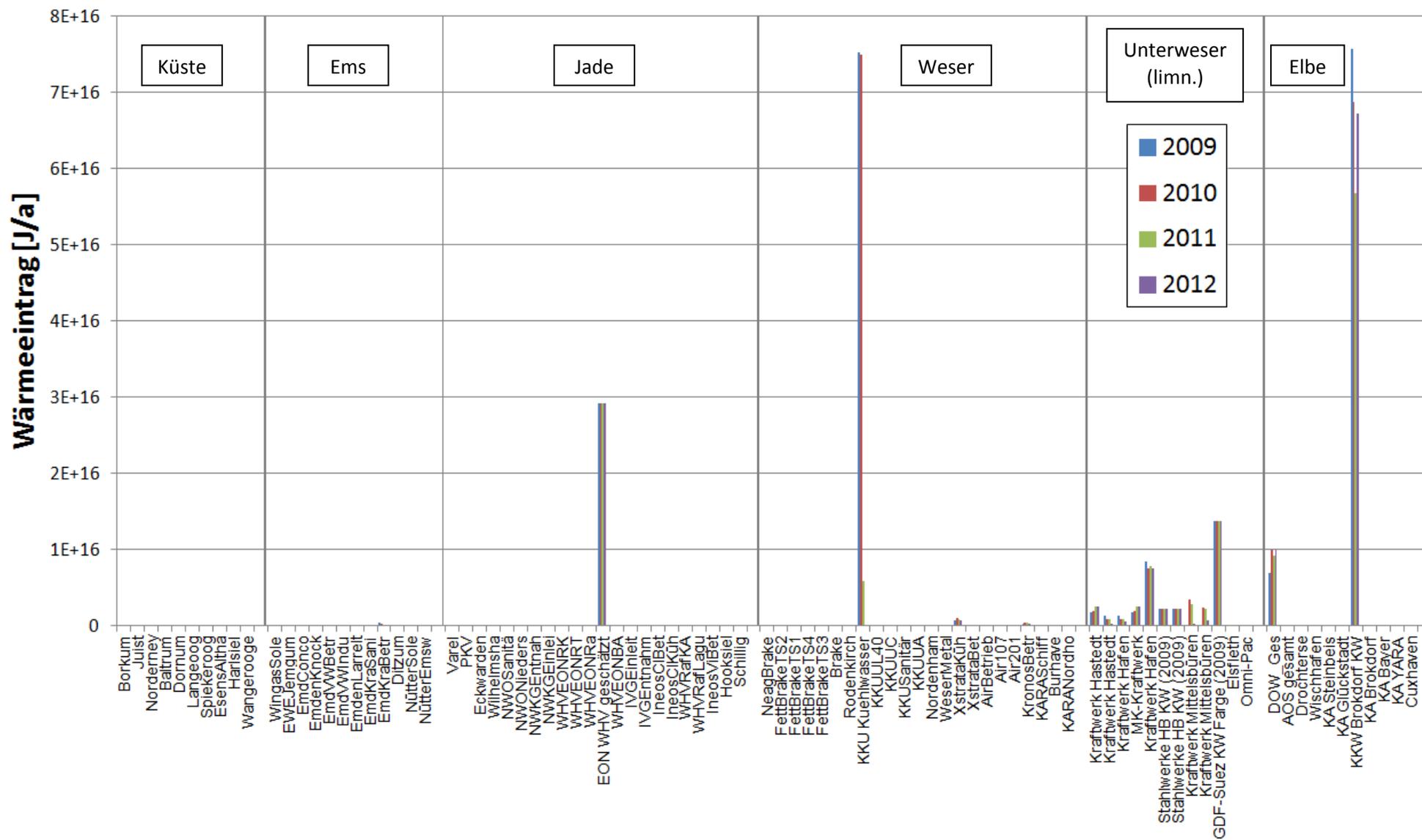


Abb. 21: Wärmeinträge in die Wasserkörper der niedersächsischen Küsten- und Übergangsgewässer: Dargestellt sind die Werte für jeden Einleiter und die Jahre von 2009 bis 2012. Doppelnennungen bedeuten, dass der betreffende Einleiter zwei Einleitungsstellen hat (z. B. getrennte Einleitungen für 2 Kraftwerksblöcke).

Die größten 16 (Teil-) Wärmeeinleitungen von insgesamt 13 Einleitern sind in Tab. 15 aufgelistet. Zusätzlich zur mittleren jährlichen eingeleiteten Wärmeenergie wurde auch die potentielle Temperaturerhöhung unter Berücksichtigung des Abflusses im Gewässer berechnet. Bei der Berechnung wurde ein gewichtetes Mittel der Wassertemperaturen im Gewässer und im Rücklauf bestimmt, wobei die Jahresvolumina des Abflusses und des Kühlwassers als Gewichte verwendet wurden. Die potentielle Temperaturerhöhung dient an dieser Stelle als Maß für die eingeleiteten Wärmemenge und stellt nicht die tatsächlich im Gewässer erreichte Temperaturerhöhung dar. Insbesondere lässt diese Berechnung das Tidegeschehen mit dem einströmenden Salzwasser außer Acht, wodurch das Kühlwasser weiter verdünnt und die Wassertemperatur gesenkt wird. Folglich überschätzt die potentielle Temperaturerhöhung die tatsächlich auftretende.

Für das Kraftwerk in Brokdorf ergibt sich eine rein rechnerische – und daher an dieser Stelle ‚potentiell‘ genannte – Temperaturerhöhung von 0,6 K und für das KKW wurde eine potentielle Temperaturerhöhung von 0,9 K berechnet. Der für das KKW höhere Wert ergibt sich aus dem Weserabfluss, der mit 326 m³/s weniger als 50 % des Elbabflusses beträgt. Da der Betrieb des KK-Unterweser im April 2011 eingestellt worden ist (siehe Abb. 14), nahm die Wärmemenge von 7,5 · 10¹⁶ Joule im Jahre 2010 auf 0,59 bzw. 0 · 10¹⁵ Joule in den Jahren 2011 und 2012 ab. Berücksichtigt man die mittlere Wärmeenergie, die im Zeitraum 2009 bis 2010 vom KKW eingetragen worden ist, so ergibt sich sogar eine potentielle Temperaturerhöhung von 1,7 K.

Tab. 15: Gewässerabfluss, mittlere jährliche Wärmeeinträge der größten 16 Wärmeeinleitungen mit einer jährlichen Wärmeenergie von > 10¹⁴ Joule (von 13 Einleitern) und die aus dem Wärmeeintrag resultierende potentielle Temperaturerhöhung unter Berücksichtigung der Abflussrate (zur Bestimmung siehe Text). Für das KK-Unterweser wurde die Berechnung zusätzlich für den Zeitraum 2009 bis 2010 durchgeführt, da das Kraftwerk im April 2011 runtergefahren worden ist und der mittlere Wärmeeintrag für den gesamten Zeitraum nicht repräsentativ für die Betriebsphase ist. Mittlere Abflussdaten für die Elbe nach IKSE (2005) und für die Weser nach Tab. 9.

Einleiter	Abfluss Gewässer [m ³ / s]	Mittlere eingetragene Wärmeenergie (2009 – 2012) [J]	Potentielle Temperaturerhöhung [K]	Wasserkörper
KKW Brokdorf KW	824	6,71 · 10 ¹⁶	0,618	T1 Elbe
KKU Kühlwasser	326	3,90 · 10 ¹⁶ (nur 2009-2010: 7,5 · 10 ¹⁶)	0,907 (nur 2009-10: 1,7)	T1 Weser
EON WHV geschätzt	n, a,	2,92 · 10 ¹⁶ ¹⁵⁾	n, a,	DE_CW_N2_4900_01
GDF-Suez KW Farge	308	1,37 · 10 ¹⁶	0,337	Unterweser (limn.)
DOW_Ges	793	9,00 · 10 ¹⁵	0,086	T1 Elbe
Kraftwerk Hafen (Block 1)	308	7,88 · 10 ¹⁵	0,194	Unterweser (limn.)
Stahlwerke HB KW (2 Einleitungen)	308	4,6 · 10 ¹⁵	0,114	Unterweser (limn.)
Kraftwerk Hastedt (Block 1)	300	2,23 · 10 ¹⁵	0,056	Unterweser (limn.)

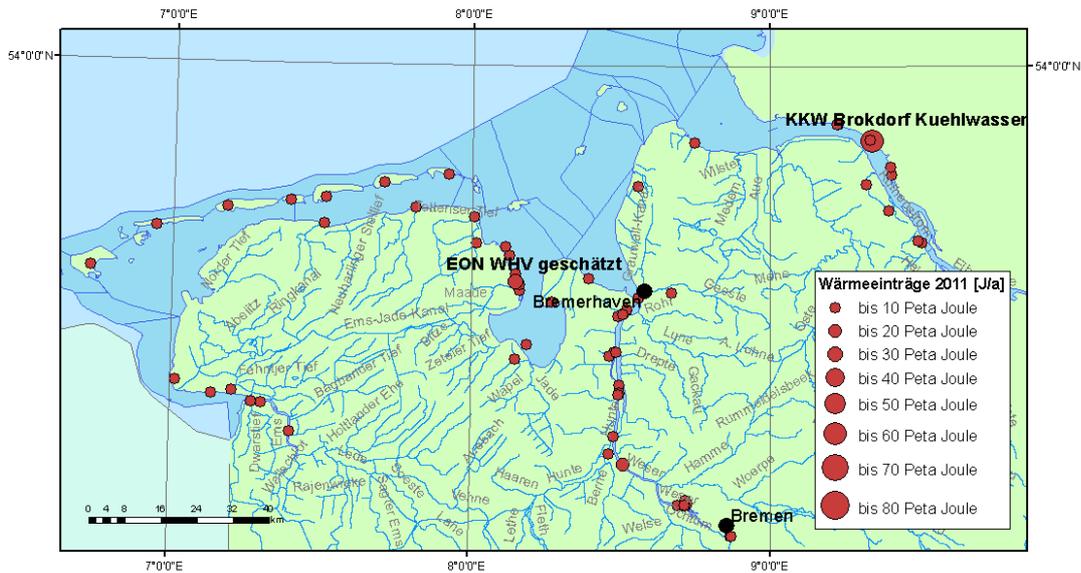
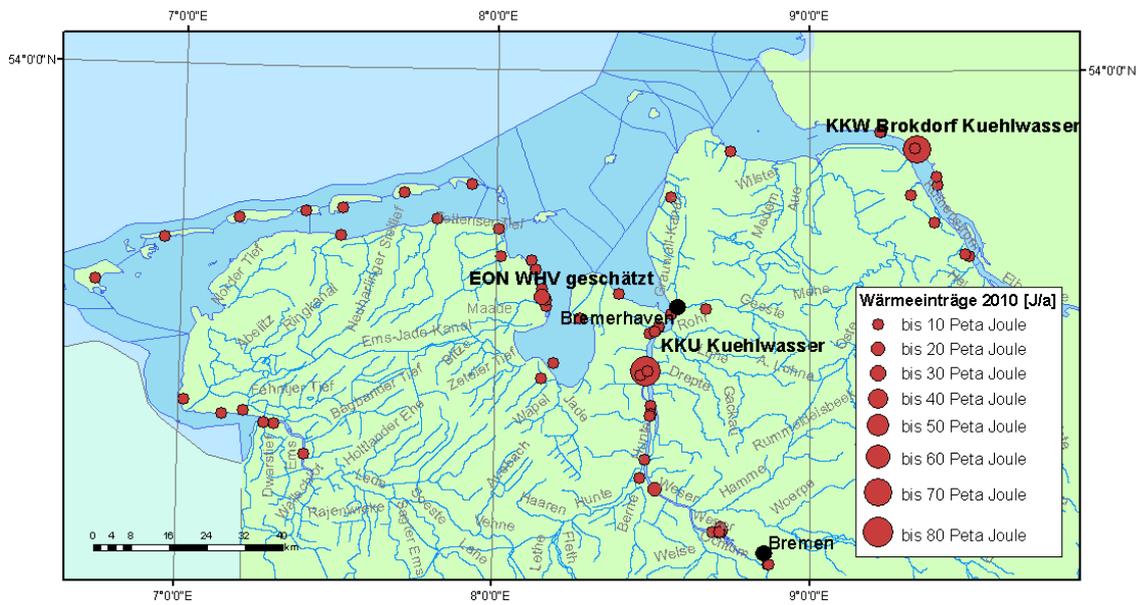
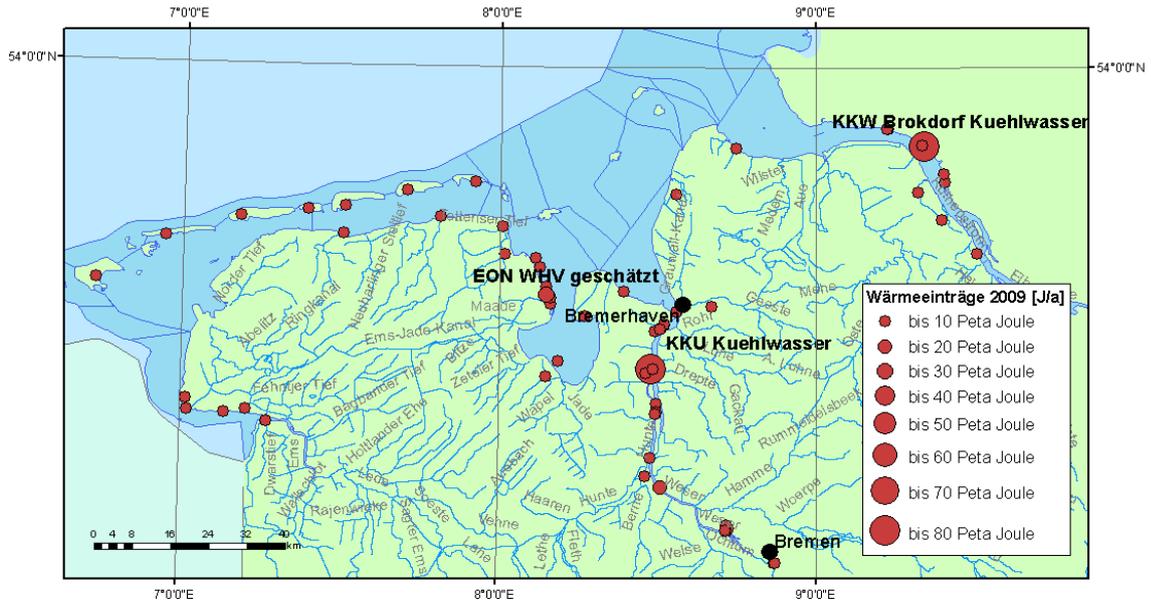
¹⁵⁾ Nach Fertigstellung der Datenanalysen und Abbildungen wurden Angaben zu den Kühlwassereinleitungen des E.ON-Kraftwerkes bereitgestellt. Aufgrund dieser Angaben muss der Wert von 30 Peta Joule um 33 % nach unten korrigiert werden. Die mittlere Wärmeenergie, die im Zeitraum 2009-2012 jährlich in den Jadebusen eingetragen wurde, beträgt 20 Peta Joule (595 Mio. m³ / a mit einer Temperaturerhöhung von 8 K).

Einleiter	Abfluss Gewässer [m ³ / s]	Mittlere eingetragene Wärmeenergie (2009 – 2012) [J]	Potentielle Temperatur- Erhöhung [K]	Wasserkörper
MK-Kraftwerk	308	2,23 10 ¹⁵	0,055	Unterweser (limn.)
Kraftwerk Mittelsbüren (Block 1)	308	2,23 10 ¹⁵	0,055	Unterweser (limn.)
Kraftwerk Mittelsbüren (Block 2)	308	1,82 10 ¹⁵	0,045	Unterweser (limn.)
Kraftwerk Hafen (Block 2)	308	8,95 10 ¹⁴	0,022	Unterweser (limn.)
Kraftwerk Hastedt (Block 2)	300	8,46 10 ¹⁴	0,021	Unterweser (limn.)
XstrataKüh ¹⁶⁾	326	8,35 10 ¹⁴	0,019	T1 Weser
KronosBetr	328	3,98 10 ¹⁴	0,009	T1 Weser
EmdKraBetr	102	1,82 10 ¹⁴	0,014	T1 Ems

Stellt man die Wärmemengen der Einleiter auf einer linearen Skala grafisch in einer Karte dar (siehe Abb. 22), so heben sich nur die drei größten Kraftwerke Brokdorf, Unterweser und Wilhelmshaven mit ≥ 10 Peta Joule deutlich von allen anderen „relativ kleinen“ Einleitern ab. Um die Unterschiede zwischen den Einleitern zu illustrieren, wurden die Wärmeenergien daher zusätzlich auf einer logarithmischen Skala in Kartenausschnitten dargestellt (siehe Abb. 58 im Anhang).

Zur Übersicht sind in den logarithmischen Darstellungen lediglich diejenigen Einleiter beschriftet, die eine Wärmemenge von über 10^{13} Joule pro Jahr einleiten. Neben den drei großen Kraftwerken werden die nächsthöheren Einträge durch die swb-Kraftwerke im Bereich Bremen sichtbar. Daher ist anzunehmen, dass das Wasser bereits „vorbelastet“ ist, bevor es den Bereich beim KKK erreicht. Für die Tideelbe gilt dasselbe, da im Bereich von Hamburg die Kraftwerke in Tiefstack und in Wedel große Mengen an Wärme in das Wasser einleiten und in Moorburg ein weiteres Kohlekraftwerk seinen Betrieb aufnehmen wird. Daten über die Wärmeeinträge der drei Kraftwerke in Hamburg und Wedel wurden in dieser Studie jedoch nicht berücksichtigt.

¹⁶⁾ Seit 2013 Nordenhamer Zinkhütte GmbH, früherer Name XStrata



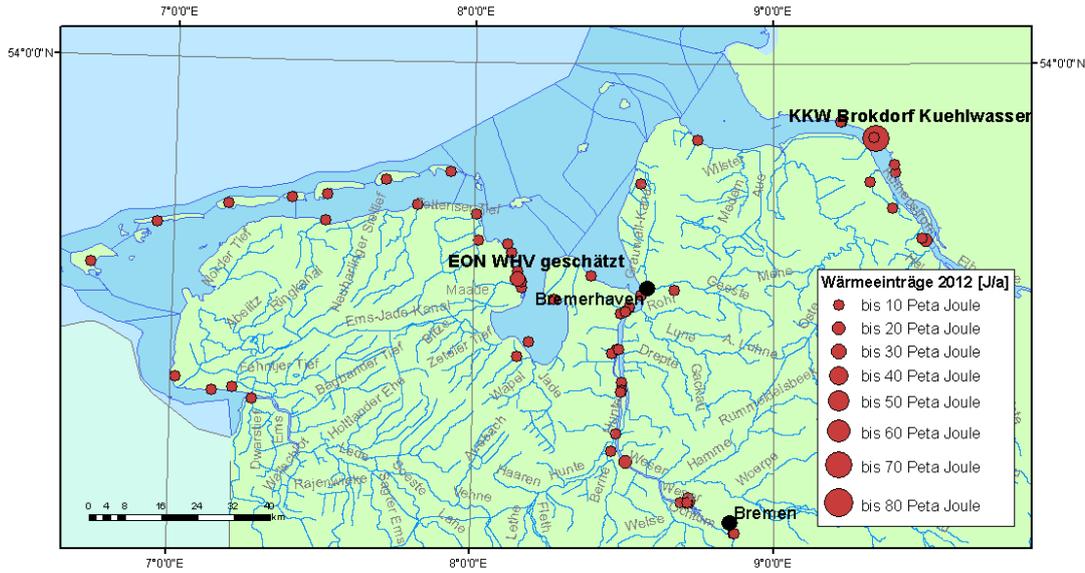
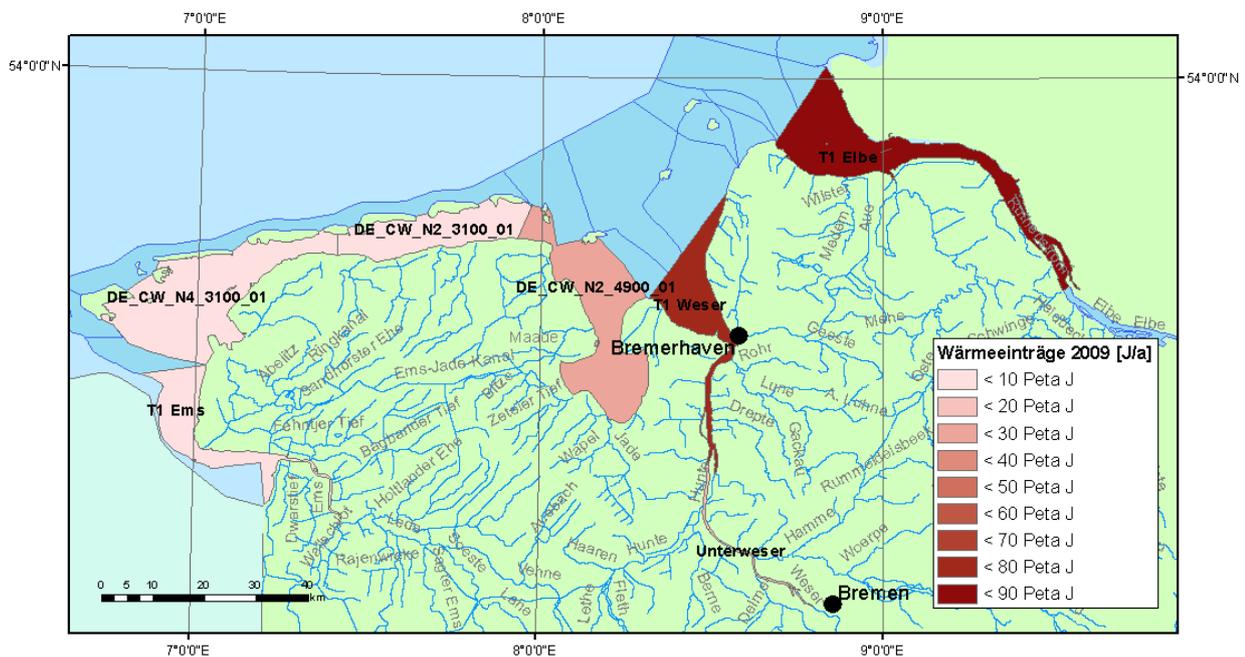


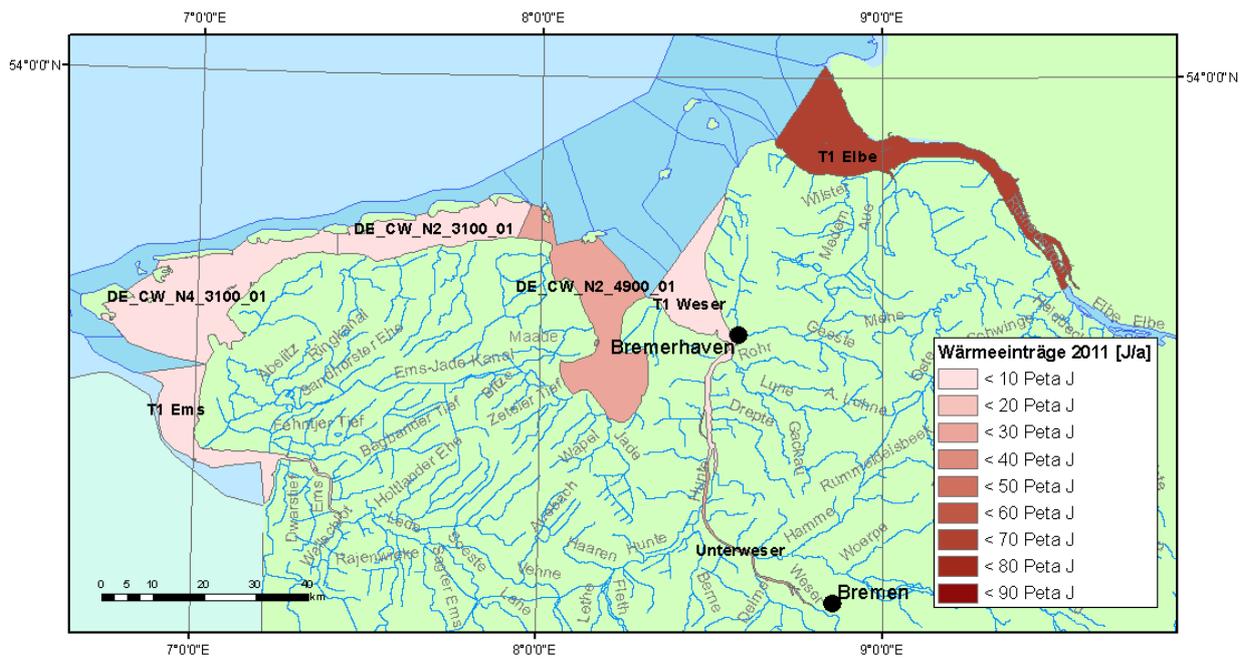
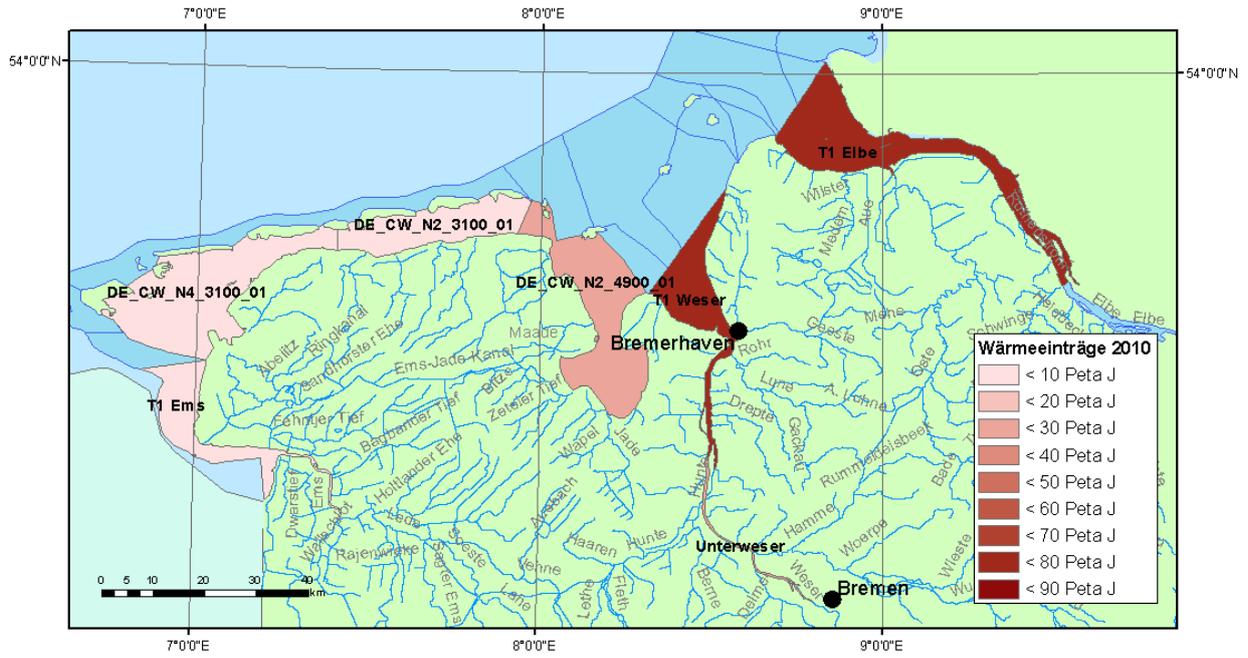
Abb. 22: Wärmeeinträge in die niedersächsischen Küsten- und Übergangsgewässer in den Jahren 2009 bis 2012. Alle Einleiter mit mehr als 20 Peta Joule pro Jahr sind beschriftet. Die absoluten Wärmeeinträge sind in Anhang Tab. 58 zusammengestellt.

Summiert man die Wärmemengen auf, die in jeden Wasserkörper eingeleitet werden, so ergeben sich für die sieben betroffenen Wasserkörper Werte im Bereich von 10^{12} bis 10^{17} Joule pro Jahr (siehe Abb. 23). Vergleicht man die Darstellungen für die verschiedenen Jahre, so wird die Abnahme der Wärmeeinträge ab 2011 durch das KKW in das Übergangsgewässer T1 Weser deutlich.

Signifikante Änderungen traten auch im Wasserkörper DE_CW_N2_3001_01 (Euhalines Wattenmeer der Ems) auf. Hier nahmen die Wärmeeinträge im Jahr 2011 im Vergleich zum Vorjahr von $9,9 \cdot 10^{12}$ auf $2,2 \cdot 10^{13}$ Joule zu, da sich der Eintrag durch Langeoog von $3,7$ auf $6,7 \cdot 10^{12}$ Joule fast verdoppelte, und für 2010 auf Wangerooge keine Wärmeeinträge stattfanden (bzw. nicht in der LDB verzeichnet sind), wogegen für 2011 Einträge von $5,8 \cdot 10^{12}$ Joule eingeleitet wurden. Dieser Sprung ist jedoch in den Abbildungen nicht zu sehen, da für die Symbolisierung als kleinste Stufe bereits 10 Peta Joule gewählt wurde.

Die genauen Wärmeeinträge, die in den Jahren 2009 bis 2012 in die Wasserkörper erfolgten, sind im Anhang in Tab. 58 angegeben.





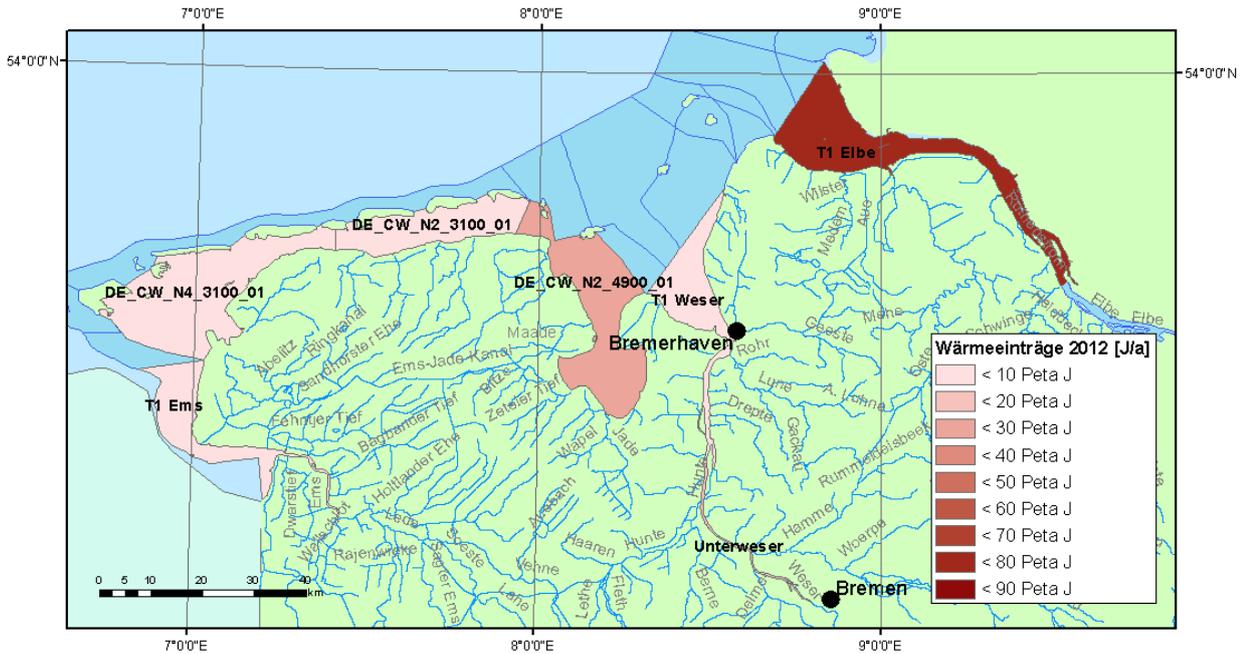


Abb. 23: Wärmeeinträge in die Wasserkörper des niedersächsischen Küsten- und Übergangsgewässer (von oben nach unten: 2009, 2010, 2011 und 2012).

4.2 Natürliche Wassertemperaturen in Küsten- und Übergangsgewässern

4.2.1 Zeitliche Variabilität der Wassertemperatur

Als Grundlage für die Bewertung von Wärmeeinträgen wurden zunächst alle vorliegenden Zeitserien Wassertemperaturmessungen im Bereich der niedersächsischen Küsten- und Übergangsgewässer analysiert. Wie bereits in Abb. 5 illustriert, handelt es sich bei den meisten Messreihen um oberflächennahe Temperatur-Messungen. Nur die Messungen in der Weser an den Pegelstationen des WSA-BHV und in der Elbe an der Station Grauerort stellen Messungen in Bodennähe dar (siehe Abb. 5 c und d und Abb. 6 a). In der Weser erfolgen die Messungen ca. 1 m und in der Elbe bei Grauerort – seit 2007 - ca. 3 m über dem Grund.

Ziel der Analysen war es, die natürliche Variabilität und die Spannweite der Wassertemperaturen in den verschiedenen Regionen zu quantifizieren. Insbesondere die im Sommer auftretenden Maximaltemperaturen standen im Fokus der Analysen. Diese sind von besonderer Bedeutung im Zusammenhang mit biologischen Effekten durch Wärmeeinträge, da gerade in dieser Phase anthropogene Wärmeeinträge zur Überschreitung von biologisch relevanten Grenzwerten führen können (siehe Kapitel 5).

Um die natürlich bedingten Temperaturmaxima näher zu charakterisieren, wird im Folgenden das Überschreiten bestimmter Grenzwerte sowie die Dauer der Überschreitung dokumentiert. Eine Wassertemperatur von 23 °C wird im Küstenbereich sowie im Bereich der Mündungen nur selten überschritten, wogegen im oberen Bereich der Übergangsgewässer in warmen Jahren eine Wassertemperatur von 25 °C erreicht werden kann. Im Winter (Januar bis März) liegen die Wassertemperaturen in allen Gewässern unter 10 °C.

Zur Illustration wurden in allen Temperatur-Zeitreihen-Diagrammen für die Winterzeit (Januar – März) der Wert von 10 °C und für die Sommermonate Juli und August die beiden Grenzwerte 23 und 25 °C markiert. Diese Werte werden auch im Rahmen des in Kapitel 7 beschriebenen Bewertungskonzepts als Kriterien verwendet.

Für jeden der drei Bereiche Küste, Mündungsgebiet und oberer Abschnitt der Übergangsgewässer ist in Abb. 24 jeweils eine exemplarische Zeitreihe der Wassertemperatur dargestellt. Zeitreihen-Diagramme für alle Stationen befinden sich im Anhang (siehe Abb. 57 bis Abb. 65).

Um einen Eindruck über die Temperaturspanne zu bekommen, wurden alle vorliegenden Jahresgänge für jedes Teilgebiet (Küste, Jadebusen, Ems, Weser und Elbe) übereinanderliegend dargestellt (Abb. 25).

Zeitreihen der Wassertemperatur in Küstengewässern

Wie bereits erwähnt, treten im Küstenbereich nur selten Wassertemperaturen über 23 °C auf. Selbst in warmen Jahren wird dieser Wert höchstens um wenige Tage bis maximal ca. 2 Wochen überschritten (siehe Tab. 16 und Tab. 17).

Wie in Abb. 24 (oben) dargestellt, traten an der Station Norderney W2 Wassertemperaturen über 23 °C bei Hochwasser am 4.8.2003 (23,1 °C), am 11.8.2003 (23,9 °C) und am 24.7.2006 auf (23,3 °C). Bei Niedrigwasser wurde dieser Grenzwert nur am 21.7.2010 überschritten (23,1 °C, siehe Abb. 57). Da es sich um wöchentliche Messungen handelt, ist die Dauer dieser Überschreitungen nicht tagegenau bestimmbar.

Die 14 Jahre lange Zeitreihe für die Station JaBu W1 im Jadebusen zeigt, dass die maximal erreichte Wassertemperaturen von Jahr zu Jahr um bis zu 5,6 K schwanken kann. Die Jahresmaxima liegen zwischen 18,4 (2000) und 24,0 °C (2006). Der Wert von 23 °C wird nur am 13.8.2003 (23,2 °C) und am 31.7.2006 (24 °C) überschritten. Im Zeitraum 2009 bis 2013 schwankten die Maximaltemperaturen zwischen 19,4 (2009) und 22,8 °C (2010).

Für Spiekeroog liegen kontinuierliche Messungen der Wassertemperatur vor, jedoch nur für 2013. Die Ergebnisse weisen am 23.7.2013 Temperaturen bis 23,2 °C auf. Das Tagesmittel lag an diesem Tag jedoch bei 21,3 °C.

Die Abb. 25 a und b zeigt diese Ergebnisse im Überblick.

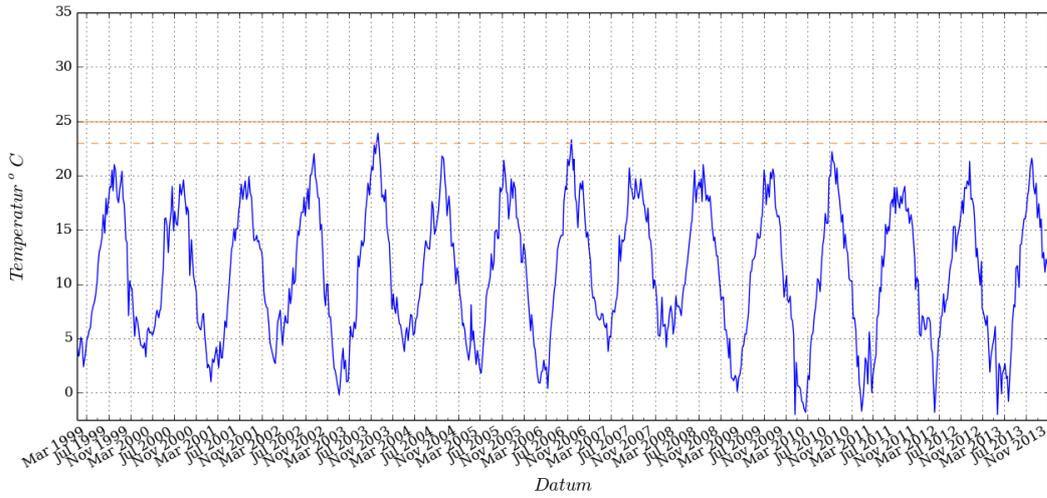
Zeitreihen der Wassertemperatur in Übergangsgewässern

Wie in Tab. 16 und Tab. 17 angegeben, wird die Temperatur von 23 °C an den Messstationen der Ems in dem Zeitraum 2009 bis 2012 nicht erreicht (siehe Abb. 26 c und Abb. 58 im Anhang). Die Jahresmaxima schwanken im Bereich zwischen 19,1 (2011) und 22,1 (2010).

In der Unterweser können Wassertemperaturen von bis zu 25,3 (Rechtenfleth, siehe Abb. 24 unten) bzw. 25,5 °C (Brake) auftreten (siehe ebenfalls Tab. 16 und Tab. 17).

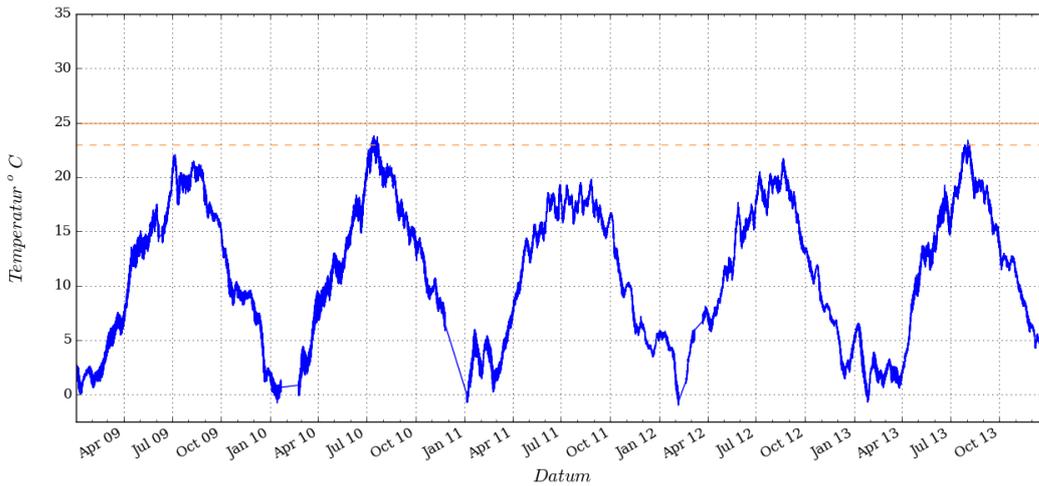
Küstenstation

Wassertemperatur Norderney W2 (Hochwasser)



Station im Mündungsgebiet

Wassertemperatur Weser - Robensüdsteert



Fließgewässerstation

Wassertemperatur Weser - Rechtenfleth

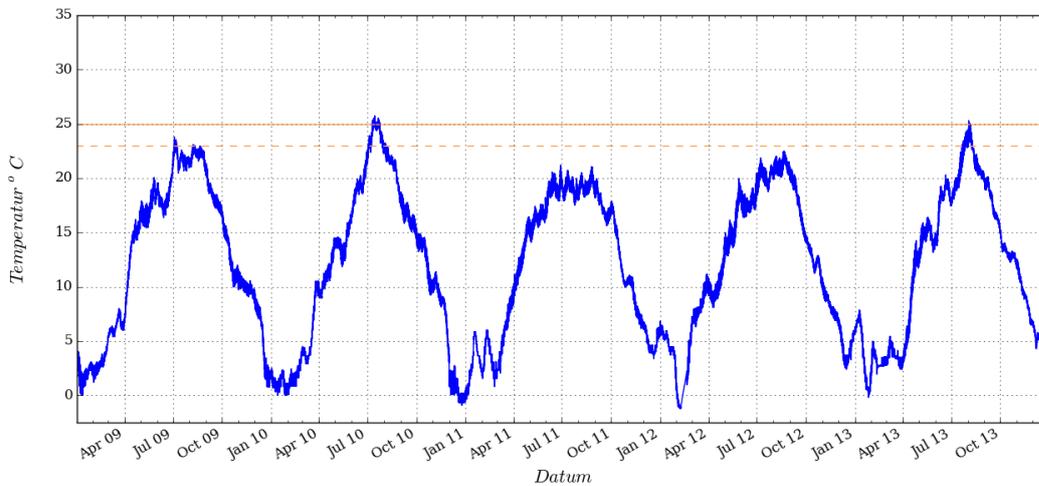
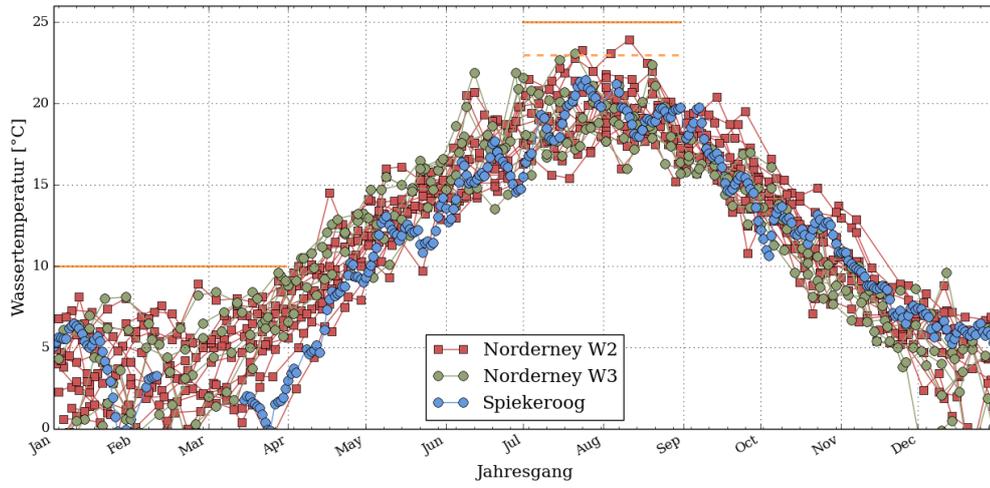


Abb. 24: Jahresgänge der Wassertemperatur (oberflächennah): Dargestellt sind die Zeitserien an je einer Station im Küstenbereich (oben), in einem Mündungsgebiet (Mitte) und an einer Station in der Unterweser (unten). Die orangefarbene Linie markiert jeweils den für die betreffende Region gewählten Grenzwert von 23 bzw. 25 °C.



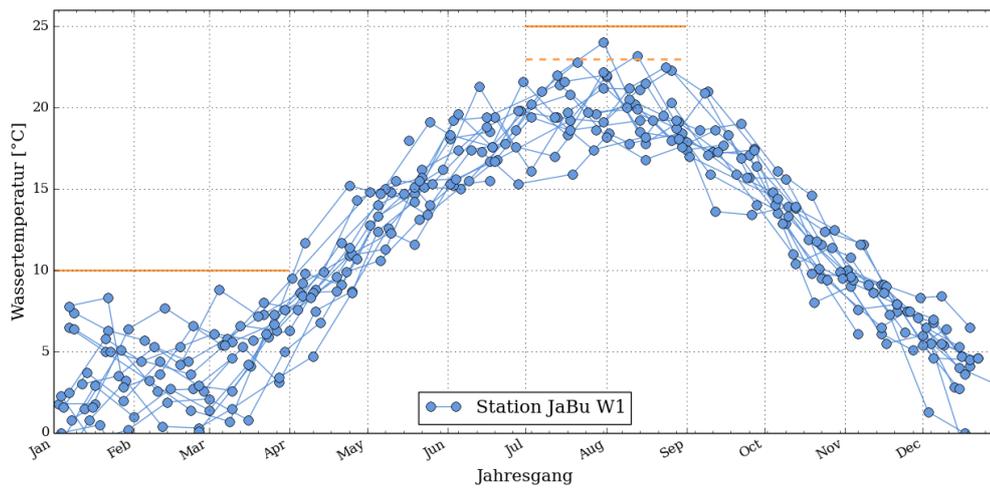
A

Küste (Norderney und Spiekeroog):



B

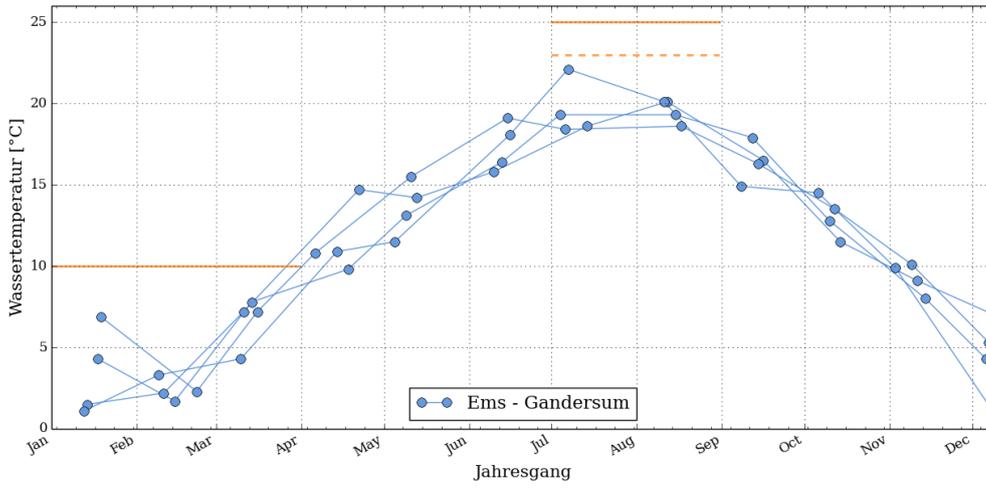
Jadebusen





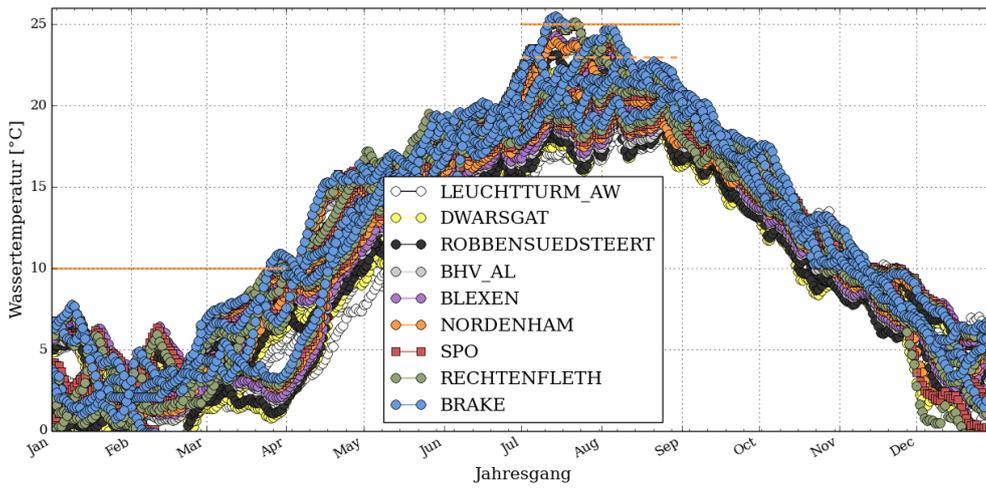
C

Ems



D

Weser



E

Elbe

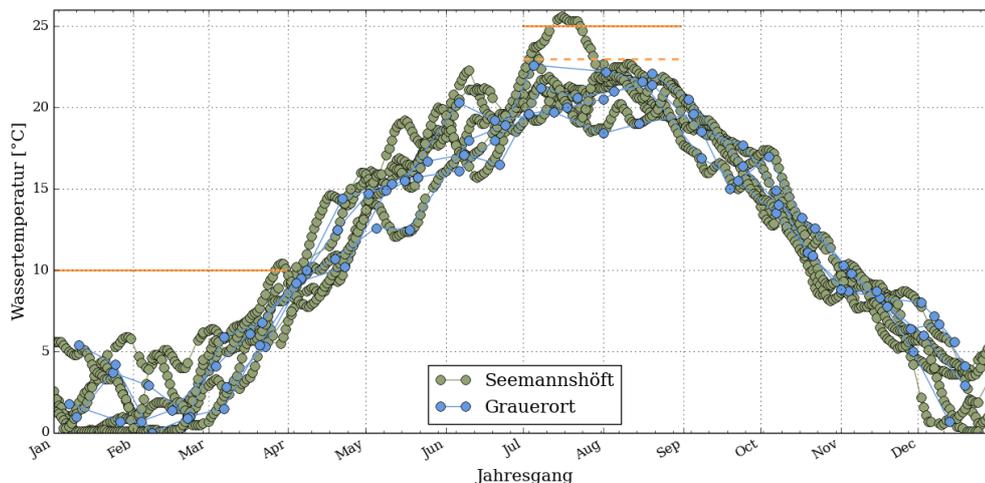


Abb. 25: Jahresgänge der Wassertemperatur in den Küsten- und den Übergangsgewässern: Für den Winter (Januar bis März) und Sommer (Juli bis August) sind die Grenzwerte von 10 °C bzw. 23 und 25 °C als waagerechte orangefarbene Linien markiert.

Tab. 16: Maximale Wassertemperaturen und Dauer der Überschreitung der Grenzwerte 23 °C (Stationen im Küstenbereich und im Mündungstrichter) bzw. 25 °C (Fließgewässer oberhalb der Mündungstrichter). Die Angaben berücksichtigen Einzelmessungen oder – bei kontinuierlichen Messungen - Tagesmittelwerte.

Die Messungen in der Weser erfolgten in Bodennähe. An allen anderen Stationen handelt es sich um oberflächennahe Messungen. EM: Einzelmessung; kont.: Kontinuierliche Messung.

Station	Messart und -zeitliche Auflösung	Grenzwert	2009	2010	2011	2012	2013
Küstengewässer							
- Norderney W2	EM (Woche)	23	20,6	22,2	19	21,3	21,6
- Norderney W3	EM (Woche)	23	21,6	23,1 (1 Woche)	21,9	22,4	n. v.
- Spiekeroog	Kont.	23	n. v.	n. v.	n. v.	n. v.	23,2 (1 Tag)
Ems							
- Gandersum (WSV)	EM (Monat)	23	20,1	22,1	19,1	19,3	n. v.

Station	Messart und -zeitliche Auflösung	Grenzwert	2009	2010	2011	2012	2013
Jade							
- JaBu W1 (NLWKN)	14 Tage	23	22,5	22,8	20,3	19,4	n. v.
- Pile Jade 1 (HZG)	Kont.	23	21,8	23,4 (4/5 Tagen)	20,2	n. v.	n. v.
- Pile Jade 2 (HZG)	Kont.	23	n. v.	n. v.	21,9	n. v.	n. v.
Weser							
- Leuchtturm AW	Kont.	23	19.94	19.62	18.39	19.91	19.8
- Dwarsgat	Kont.	23	20.78	22.06	19.31	21.19	21.81
- Robbensüdsteert	Kont.	23	21.63	23.14 (4 Tage)	19.42	21,40	22.52
- BHV AL	Kont.	25	22.21	24.09	19.47	21.32	23.02
- Blexen	Kont.	25	22.36	24.33	19.77	21.37	23.14
- Nordenham	Kont.	25	21.96	23.98	19.84	21.62	23.69
- Strohauserplate Ost	Kont.	25	23.03	25.15 (4 Tage)	20.1	21.83	23.88
- Rechtenfleth	Kont.	25	23.14	25.27 (4 Tage)	20.38	21.99	24.2
- Brake	Kont.	25	23.22	25.5 (8 Tage)	20.79	22.36	24.74
Elbe							
- Cuxhaven	Kont.	23	n. v.	n. v.	19,9	20,6	n. v.
- HPA-Elbe 1 (HPA)	Kont.	23				20,9	
- Grauerort (WSV)	14 Tage	25	21,4	22,6	20,3	22,1	n. v.
- Seemannshöft (IHU Hamburg)	Kont.	25	23,2	25,6 (10 Tag)	21,5	22	n. v.

Ein statistisches Problem tritt bei der Frage nach der Vergleichbarkeit der Temperaturmessungen mit unterschiedlicher zeitlicher Auflösung auf, was bei der Interpretation der Angaben in Tab. 16 zu berücksichtigen ist. Im Falle von Einzelmessungen (täglich oder wöchentlich) wurde ein einzelner Messwert als Schätzwert der mittleren Wassertemperatur des jeweiligen Tages verwendet, wogegen bei den kontinuierlichen Messungen mit Messintervallen von ≤ 10 Minuten tatsächlich ein Tagesmittel bestimmt werden konnte. Die Einzelmessungen werden den Mittelwert in der Regel ein wenig überschätzen, da die

Messungen zu Arbeitszeiten durchgeführt werden (zwischen 7:00 – 19:00 h), so dass die Temperatur im Tagesverlauf entweder im mittleren Bereich liegt oder leicht erhöht ist, da die kühleren Nachttemperaturen unberücksichtigt bleiben.

Die maximalen Wassertemperaturen eines Tages liegen um ca. 0,5 bis 1 °C über den Tagesmittelwerten. Für die Stationen der Weser ergeben sich konkret Unterschiede im Bereich von 0,4 und 1,5 °C, wobei der zweithöchste Wert bei 1,1 °C liegt.

Um diesen Einfluss exemplarisch zu beschreiben, wurde für die bodennahen Messungen der Wassertemperatur in der Weser auch die Phasen bestimmt, in denen die Tagesmaxima der Wassertemperatur die Grenzwerte 23 und 25 °C überschreiten (siehe Tab. 17). Im Vergleich zu Tab. 16, welche dieselben Angaben für die Tagesmittelwerte zeigt, ist zu erkennen, dass die Jahresmaxima der Tagesmaxima um ca. 0,5 bis 1 °C über den Jahresmaxima der Tagesmittel liegen. Auch treten diese Überschreitungen über längere Zeiträume von bis zu 15 Tagen auf.

Tab. 17: Maximale Wassertemperaturen in den Jahren 2009-2013 an Stationen der Weser (WSA BHV). Die Temperaturen wurden kontinuierlich in Bodennähe gemessen. Standorte siehe Abb. 5.

Station	2009	2010	2011	2012	2013
LEUCHTTURM_AW	20,6	20,2	18,9	20,9	21,3
DWARSGAT	21,6	23,2	19,8	21,7	22,7
ROBBENSUEDSTEERT	22,1	23,8	19,8	21,7	23,4
BHV_AL	22,9	25,0 (1 Tag)	20,1	21,7	23,6
BLEXEN	23,1	25,4 (6 und 2 Tage mit 2 Tagen Pause bei 24,8 °C)	20,2	21,8	23,7
NORDENHAM	22,7	24,8	20,4	22,2	24,4
SPO	23,4	25,7 (14 Tage)	20,9	22,4	24,7
RECHTENFLETH	23,8	25,8 (15 Tage)	21,2	22,5	25,3 (2 Tage)
BRAKE	23,8	26,0 (9 Tage)	21,5	22,6	25,5 (4 Tage)

4.2.2 Räumliche Variabilität der Temperaturverteilung

Abb. 26 zeigt eine grafische Darstellung der maximalen Temperaturwerte in der Weser aus Tab. 16. Die Wassertemperatur nimmt flussabwärts von Brake bis zur Station Leuchtturm Alte Weser kontinuierlich ab und die Unterschiede zwischen den Jahren sind klar erkennbar. Zusammen mit den Angaben in Tab. 16 lassen sich folgende Aussagen treffen:

- Der Grenzwert von 25 °C wird 2010 an den Stationen BHV_AL (14.7.2010), Blexen (12.-17.7.2010 und 20.-21.7.2010), SPO (10.-24.7.2010), Rechtenfleth (10.-24.7.2010, außer 18.7.) und Brake (10.-18.7.2010 und 2.-5.8.2013) überschritten.
- Der Wert von 23 °C wird in den Jahren 2010 und 2013 an den Stationen zwischen Brake und Robbensüdsteert überschritten, aber an der Station Dwarsgat nur knapp erreicht.

- Von Jahr zu Jahr schwanken die maximalen Temperaturen an den Stationen der Weser im Zeitraum 2009 bis 2013 um 2,4 (Leuchtturm_AW) bis 5,2 K (Blexen), im Gegensatz zu den oben erwähnten 6 K im Jadebusen (1999 bis 2012) deutlich weniger.

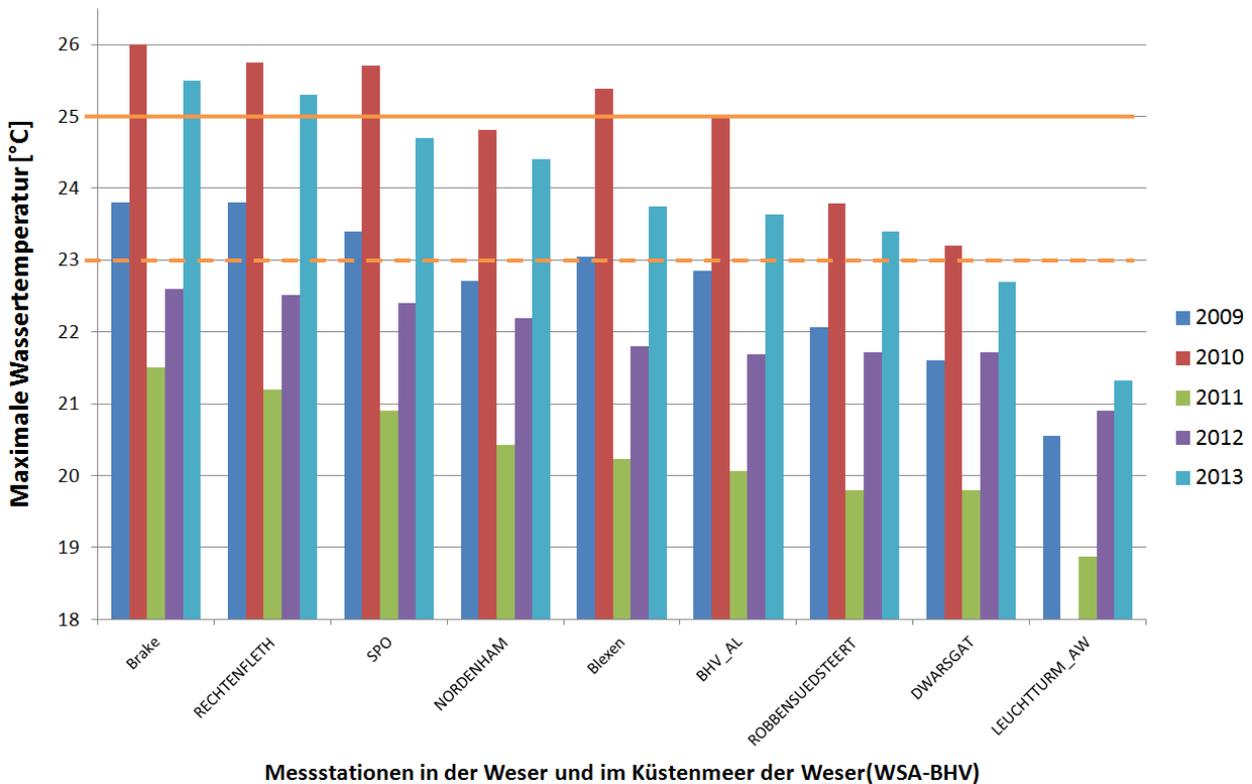


Abb. 26: Maximale Wassertemperaturen in der Weser: Dargestellt sind die maximalen Jahrestemperaturen an den Dauermessstationen der Weser von Brake bis Leuchtturm Alte Weser für die Jahre 2009 bis 2013. Der Wert für das Jahr 2010 an der Station Leuchtturm_AW wurde nicht dargestellt, da die Messreihe an dieser Station im Sommer 2010 genau zum Zeitpunkt des Temperaturmaximums lückenhaft ist.

4.3 Ausdehnung von Wärmefahnen

Um die Ausdehnung der Wärmefahnen im Jadebusen und in den Übergangsgewässern Elbe und Weser abzuschätzen, wurden folgende Informationsquellen ausgewertet:

- Literaturangaben
- Temperatur Quer- und Längsprofile der Weser
- Fernerkundungsdaten
- Modellergebnisse (BAW, 2007 und DHI/WASY,2010)

Da sich in der Ems keine großen Wärmeeinleiter befinden, bleiben diese Auswertungen auf die Elbe, Weser und Jade beschränkt.

Die Wärmeeinträge durch das EON-Kraftwerk in Wilhelmshaven führen im Jadebusen nach Modellergebnissen auf einer Fläche von 1,3 bzw. 0,5 % der Gesamtfläche zu einer Temperaturerhöhung von 0,5 bzw. 2 K, wobei die Simulationsergebnisse auf einer etwa 4-fach höheren Wärmeeinleitung als derzeit basieren (BAW 2007). Wärmefahnen mit einer Temperaturerhöhung von über 0,5 K können sich in der Weser (Temperaturlängsprofile) und der Elbe (Simulationsrechnungen) über 24 bzw. 32,5 km erstrecken (siehe Tab. 18).

Alle ausgewerteten Quellen deuten darauf hin, dass die Wärmefahnen zwar längere Gewässerabschnitte beeinflussen können, aber die Aufwärmtemperatur relativ gering ist, in der Regel unter 2 K und sich die Wärmefahnen nur über einen schmalen Bereich im Vergleich zur gesamten Flussbreite ausdehnen. Dieser

Befund wird bei der Bewertung der Wärmeeinträge im Hinblick auf die Durchlässigkeit der Gewässer aufgegriffen werden (Kapitel 7.2 und 8.4.2).

Tab. 18: Geschätzte Flächen und Kilometerbereiche in den Wasserkörpern Wattenmeer Jadebusen, Übergangsgewässer Weser und Übergangsgewässer Elbe, die von Temperaturerhöhungen > 0,5, > 1 und > 2 K betroffen sein können. Nähere Angaben im folgenden Text (Kapitel 4.3.1 bis 4.3.3).

Grenzwert	Wattenmeer Jadebusen	Übergangsgewässer Weser	Übergangsgewässer Elbe
> 0,5 K	5,4 km ² (1,33 %)	24 km (55 %)	32,5 (47 %)
> 1 K	2,9 km ² (0,72 %)	21 km (48 %)	Keine Angaben
> 2 K	2,1 km ² (0,52 %)	13,5 km (31 %)	Keine Angaben

4.3.1 Ausdehnung der Wärmefahne in der Jade

Erhöhung der Temperatur:

Nach Messungen der Oberflächentemperatur von E.ON wurden am Einlaufbauwerk des Kraftwerkes im Jadebusen Temperatur von minimal -1,8 °C und maximal 24,7 °C gemessen. In der Jade, ca. 6 km südlich vom E.ON-Kraftwerk, werden Temperaturen von 25 °C nicht überschritten. Am Auslaufbauwerk ist die Temperatur in der Regel während des gesamten Jahres um rund 8 K erhöht (IBL 2008). Auch die Oberflächen Temperaturmessungen der IVG Kavernen GmbH und des NLWKN Brake/Oldenburger kommen zu ähnlichen Werten (Minimum -2,00 °C, Maximum 24,00 °C bzw. -1,6 °C und 23,2 °C). Eine Messkampagne aus dem Sommer 2006 zwischen dem JadeWeserPort dem E.ON Kraftwerk des Ingenieurbüro Dr.-Ing. Manzenrieder und Partner (IMP) haben gezeigt, dass bis zu einer Wassertiefe von 4 bis 6 m Temperaturen > 22,5 °C gemessen (zitiert aus Arbeitsgemeinschaft IFEU et al. 2009), d. h. dass die Kühlwasserfahne bis in diese Wassertiefen reicht.

Beeinträchtigte Fläche

Um eine Vorstellung von der Größe der durch das Kühlwasser beeinflussten Fläche zu bekommen, können die Simulationsergebnisse der BAW (2007) herangezogen werden, die jedoch auf Basis eines sehr viel höheren Szenarios (Abwärmeleistung 5443 MW_{therm}) berechnet wurden, als es der zur Zeit eingeleiteten Wärmemenge entspricht (Abwärmeleistung 1255 MW_{therm} und ab 2015 sind 2115 MW_{therm} genehmigt). Die BAW Simulation kann daher als Worst Case Szenario angesehen werden und es wurden folgende Vorgaben gemacht: angenommene Anfangswassertemperatur 15 °C, Kühlwassereinleitung 130 m³/s, Aufheizspanne $\Delta T = 10$ K. Sie sind daher nur für diese Eingangsparameter gültig, geben jedoch eine Vorstellung der maximal beeinflussten Fläche:

Horizontale Ausbreitung (Abb. 27 und Abb. 28):

Bei Ebbstrom kommt es zu einer maximalen Ausbreitung der Kühlwasserfahne bis nördlich von Hooksiel, bei Flutstrom kommt es zu einer Erhöhung der Wassertemperatur in den Bereichen Bordumer Watt, Sander Watt und Stenkentief von bis zu 1,0 K. Ufernah im Bereich des Jade-Weser-Ports können die Temperaturen 8K (10 K bei 130m³/s) betragen. Die Nord/Süd Ausbreitung beträgt mehr als 1000m im Bereich zwischen dem Jade-Weser-Port und der NWO-Brücke. In diesem Bereich verbleibt ein Großteil der Abwärme, da die Ausbreitung der Kühlwasserfahne in nördlicher Richtung durch den Jade-Weser-Port behindert wird. Zu sehen ist dieses beispielsweise auch in der Landsat 8-Aufnahme vom 30.01.2014 (Abb. 50 Mitte rechts). In östlicher Richtung bildet sich die Kühlwasserfahne nur schmal aus, da es durch die

größeren Wassertiefen zu einer vollständigen Vermischung kommt. Die Fläche mit einer Temperaturerhöhung $> 2\text{K}$ macht $2,1\text{ km}^2$ aus (Tab. 19) das entspricht $1,1\%$ der Innenjadefläche oder $0,59\%$ des gesamten Wasserkörpers. Für die ab 2015 genehmigte Abwärmeleistung von $3285\text{ MW}_{\text{therm}}$ ergaben die Simulationsrechnungen Temperaturerhöhungen von 10 K an der Einleitungsstelle und von $1\text{-}2\text{ K}$ in direkter Umgebung des Einleitungsbereiches (Teilgebiet 4, vergl. Abb. 27).

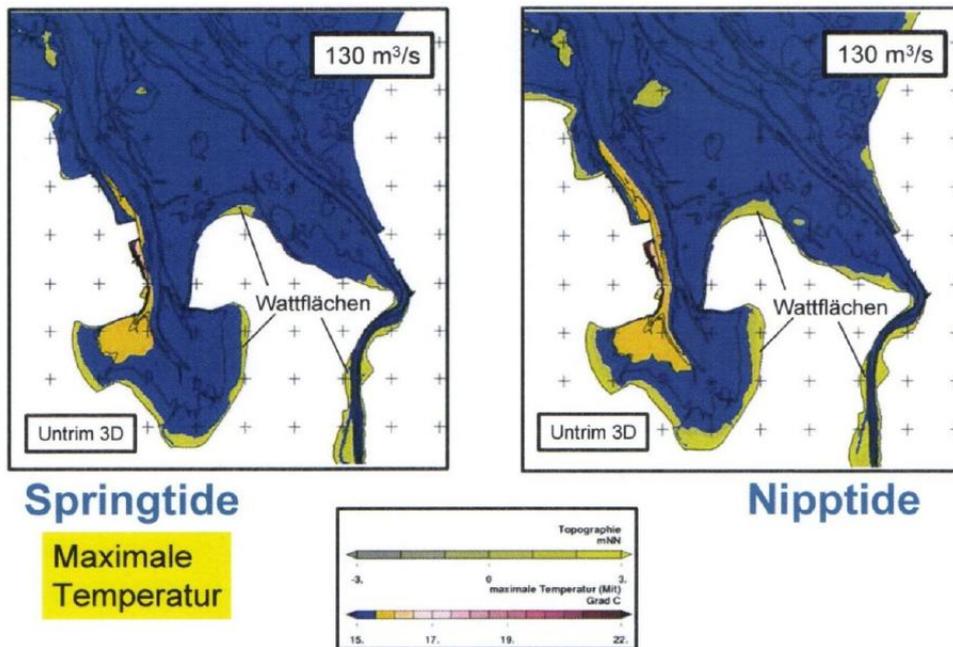


Abb. 27: Ergebnisse der BAW(BAW 2007) zur horizontalen Ausbreitung des Kühlwassers im Jadebusen im Falle einer Abwärmeleistung von 5443 MW . Als Grenze für das erwärmte Wasser wurde eine Temperaturerhöhung von mindestens $0,5\text{ K}$ gewählt (orange). Es ist derjenige Bereich markiert, innerhalb dessen im Laufe einer Tidephase eine Temperaturerhöhung von bis zu $0,5\text{ K}$ auftritt. Es handelt sich also nicht um eine Momentaufnahme.

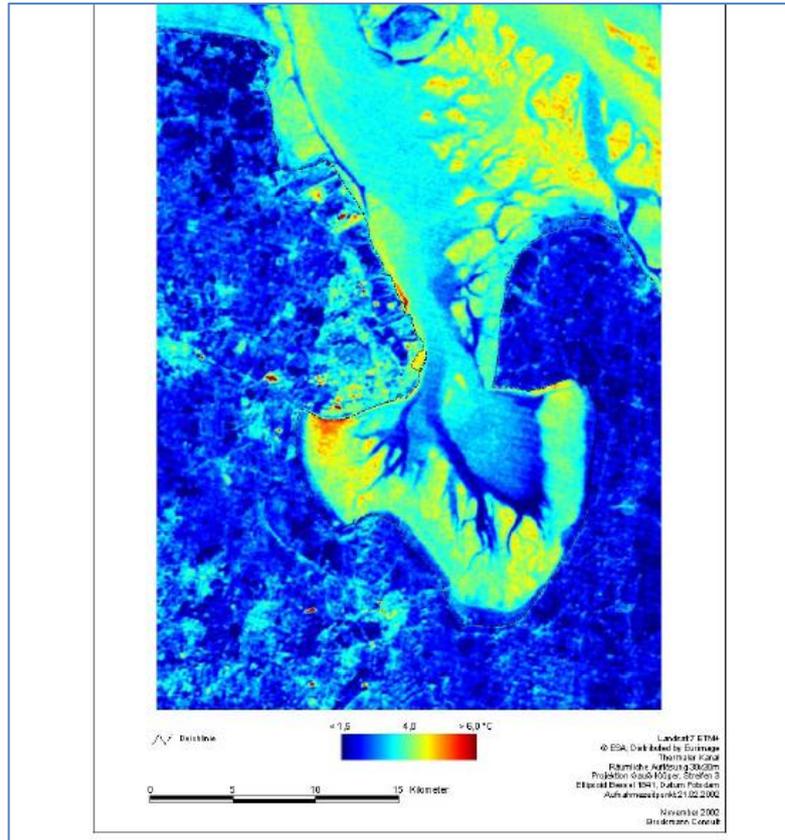
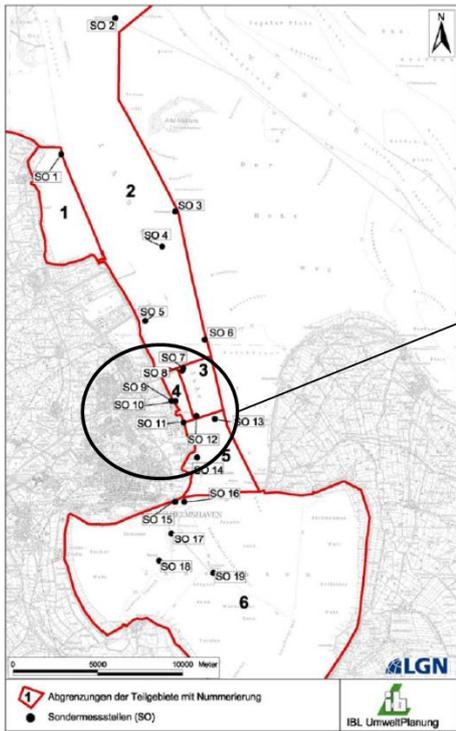


Abb. 28: Satellitentemperaturbild von Jadebusen und Innenjade vom 21.2.2002; 10:16 h (entsprechend 1 h 30 min vor Tideniedrigwasser) (Brockmann Consult, 2002) zur Ausbreitung der Kühlwasserfahne vom Kraftwerk E.ON.

Tab. 19: Größe der beeinträchtigten Flächen nach den BAW Simulationsrechnungen(BAW 2007).

Veränderung in der Wassertemperatur	Fläche (km²)
Bereiche mit $\leq 0,5$ K	2,5
Bereiche mit ≤ 1 K	0,5
Bereiche mit $\leq 1,5$ K	0,3
Bereiche mit > 2 K	1,3
Bereiche mit > 7 K	0,8
Gesamt	5,4

Simulationsergebnisse



Teilgebiet	Szenario	1				2/3				4				5				
		Abwärmeleistung (MW _{therm})		2.135	2.900/ 3.285	4.050	5.443	2.135	2.900/ 3.285	4.050	5.443	2.135	2.900/ 3.285	4.050	5.443	2.135	2.900/ 3.285	4.050
Sondermessstelle		Mittlere tiefengemittelte Wassertemperaturen [Δ K]								Maximale tiefengemittelte Wassertemperaturen [Δ K]								
1	SO 1 SLG	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
	SO 2 MPL	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
2	SO 3 WSA4	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
	SO 4 HOO	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
3	SO 5 VLP	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
	SO 6 WSA3	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
4	SO 7 Kaje	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0,5-1,0	0,5-1,0	0,5-1,0	0,5-1,0	1,0-1,5	1,0-1,5	1,0-1,5	1,0-1,5	1,0-1,5	1,0-1,5	1,0-1,5	1,5-2,0	1,5-2,0
	SO 8 NDS-Brücke	0,5-1,0	0,5-1,0	0,5-1,0	0,5-1,0	1,0-1,5	1,0-1,5	1,0-1,5	1,0-1,5	1,5-2,0	1,5-2,0	1,5-2,0	1,5-2,0	1,5-2,0	1,5-2,0	1,5-2,0	2,0-2,5	2,0-2,5
5	SO 9 KW-Auslauf	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
	SO 10 KW-Einlauf	1,5-2,0	1,5-2,0	1,5-2,0	1,5-2,0	2,5-3,0	2,5-3,0	2,5-3,0	2,5-3,0	>6	>6	>6	>6	>6	>6	4,5-7,0	4,5-7,0	7
6	SO 11 Ufermessstelle NWO	1,5	1,0-1,5	0,5-1,0	0,5-1,0	2,5-3,0	2,5-3,0	2,5-3,0	2,5-3,0	5,0-6,0	5,0-6,0	5,0-6,0	5,0-6,0	5,0-6,0	5,0-6,0	4,0-5,0	7,0-8,0	7,0-8,0
	SO 12 NWC-Brücke	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
6	SO 13 WSA2	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5
	SO 14 WNV	0,5	0,5-1,0	0,5-1,0	0,5-1,0	1,0-1,5	1,0-1,5	1,0-1,5	1,0-1,5	0,5-1,0	0,5-1,0	0,5-1,0	0,5-1,0	0,5-1,0	0,5-1,0	1,0-1,5	1,5	1,5
6	SO 15 WAV	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0,5-1,0	0,5-1,0	0,5-1,0	0,5-1,0	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0,5-1,0	0,5-1,0
	SO 16 WSA1	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0,5-1,0	0,5-1,0	0,5-1,0	0,5-1,0	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0,5-1,0	0,5-1,0	0,5-1,0
6	SO 17 IBLa	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0,5-1,0	0,5-1,0	0,5-1,0	0,5-1,0	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0,5-1,0	0,5-1,0	0,5-1,0
	SO 18 IBLb	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	0,5-1,0	0,5-1,0	0,5-1,0
6	SO 19 IBLc	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	>0,5	>0,5	>0,5	>0,5	>0,5	>0,5	>0,5	>0,5	>0,5	>0,5	>0,5	>0,5	>0,5
	SO 19 IBLc	<0,5	<0,5	<0,5	<0,5	>0,5	>0,5	>0,5	>0,5	>0,5	>0,5	>0,5	>0,5	>0,5	>0,5	>0,5	>0,5	>0,5

Ist-Zustand: 1255MW_{therm}

Ausbau 2015 Gesamtbelastung: 3285MW_{therm}

Abb. 29: Beeinträchtigte Flächen in Abhängigkeit der Abwärmeleistung auf Grundlage der BAW Simulationsrechnungen. Quelle: IBL 2008.

Vertikale Ausbreitung (Abb. 30):

Messungen zeigen, dass im Nahbereich des Einleitungsbauwerks die Kühlwasserfahne bis zum Boden reicht, in 100 m Entfernung noch eine Mächtigkeit bis zu 4m aufweist und 700 m nördlich von der Einleitung noch eine Temperaturerhöhung bis in 2 m Wassertiefe nachgewiesen werden konnte (Visscher 2003, zitiert nach BAW 2007).

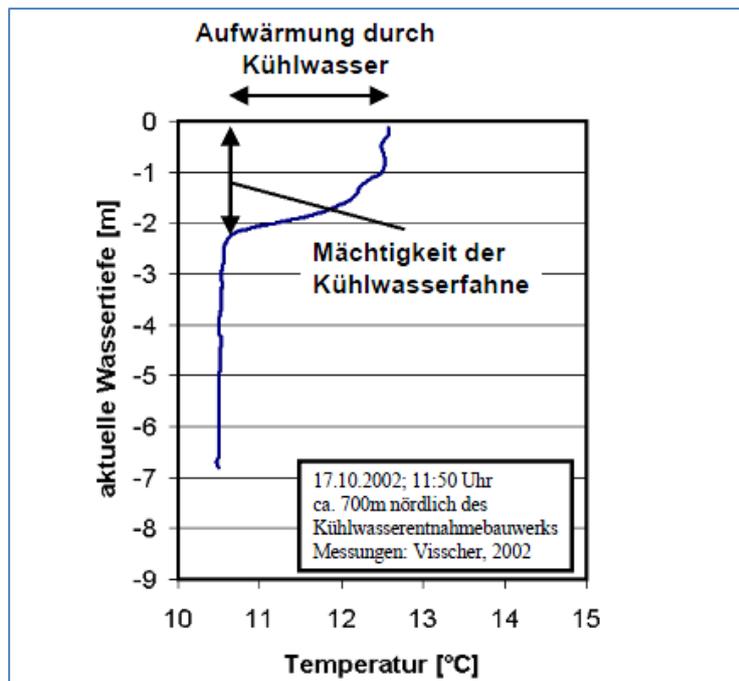


Abb. 30: Vertikale Ausdehnung der Kühlwasserfahne 700 m nördlich des Kühlwasserentnahme-Bauwerks des E.ON Kraftwerks im Herbst 2002.

Die flächenhafte Ausdehnung der Wärmefahnen in der Jade kann auch aus FE-Daten abgeleitet werden (siehe Abb. 31). Hierfür wurden aus mehreren Aufnahmen die Temperaturdifferenzen im Vergleich zu einer Referenztemperatur aus der weiteren Umgebung des Kraftwerkes berechnet und die Klassen 0.5 – 1 K, 1-2 K und > 2 K gebildet und deren räumliche Ausdehnung dargestellt. Im Falle der Jade sind bisher nur 2 Aufnahmetermine verwendet worden, bei weiterer Nutzung dieses Verfahrens, können weitere Aufnahmetermine berücksichtigt werden.

Die Bereiche mit Temperaturerhöhungen dehnen sich im Falle des Jadebusens (E.ON-Kraftwerk) in einer Länge von insgesamt 3 km aus. Gut zu sehen ist, dass die nördliche Ausbreitung der Wärmefahne durch den Jadeweser-Port behindert wird, wie es auch die Simulationsergebnisse des BAW (BAW 2007) ergeben haben (s. o.) und dass nur ein relativ schmaler Gewässerstreifen in West-Ostrichtung von der Einleitung beeinträchtigt ist (Abb. 31).

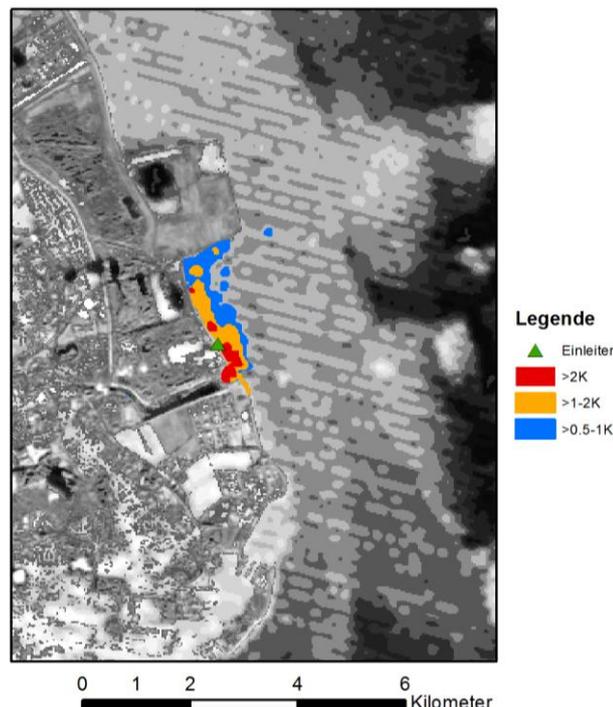


Abb. 31: Ausdehnung verschiedener Wärmebereiche im Umkreis des Kraftwerks in Wilhelmshaven.

4.3.2 Ausdehnung der Wärmefahne in der Weser

Die Ausdehnung der Wärmefahnen in der Weser wird in diesem Kapitel anhand von Quer- und Längsprofilen dokumentiert. Die Querprofile erlauben eine Einschätzung über die Ausdehnung der Wärmefahne über die Breite des Flusses bei Niedrig- und Hochwasser. Die Längsprofile in der Weser ermöglichen es, die Länge der betroffenen Bereiche mit erhöhten Temperaturen über die Flusskilometer zu betrachten. Kontinuierliche Messungen der bodennahen Wassertemperaturen an den Pegelstationen der Weser ergänzen die vorliegenden Informationen für die Oberflächentemperaturen und lassen Rückschlüsse auf die Ausdehnung der Temperaturfahnen in die Tiefe zu.

Außerdem wird versucht, die Längsprofile im Hinblick auf die Temperaturerhöhung zu quantifizieren und zu überprüfen, ob es einen statistischen Zusammenhang gibt zwischen der Höhe der Wärmeeinträge und der Ausdehnung der Wärmefahne in Bezug auf die Länge und den Temperaturanstieg.

Die Ergebnisse der Analysen bestätigen einen Zusammenhang zwischen der Höhe der Einträge und der Länge der Wärmefahnen in dem Sinne, dass in Phasen ohne Wärmeeintrag durch das KKW keine

signifikante Wärmefahne entsteht. Die beiden Messgrößen sind jedoch nicht miteinander korreliert, was darauf hindeutet, dass sich die Wärmeeinträge nicht über die gesamte Flussbreite ausdehnen.

Quer- und Tiefenprofile der Wassertemperatur in der Weser (KKU)

Etwas unterhalb des Kernkraftwerks Unterweser wurden 2006 an zwei Terminen jeweils zwei Querprofile der Wassertemperatur aufgenommen, um die räumliche Ausbreitung des Wärmeeintrages zu dokumentieren. Die beiden Profile wurden jeweils zu Niedrig- und zu Hochwasser in drei Tiefen gemessen (oberflächennah, mittig und bodennah). Die Stationen der Messungen sind in Abb. 9 und die Ergebnisse in Abb. 32 und Abb. 33 dargestellt.

Zu beiden Terminen ergab sich bei Niedrigwasser eine unsymmetrische Verteilung der Temperatur mit höheren Werten auf der Seite des KKW. Diese Erhöhung deutet auf die Wärmeeinträge durch das Kraftwerk hin und zeigen, dass sich die Fahne auf der Höhe des Kraftwerks maximal über ca. ein Viertel der Flussbreite (oberflächennahe und bodennahe Messungen) bzw. 50 % der Flussbreite (mittlere Wassertiefe) erstreckt.

Bei Hochwasser ist die Temperaturverteilung in den drei Wassertiefen über die Flussbreite gleichmäßig. Auf der Seite des KKW ist die Wassertemperatur zudem bei Niedrigwasser im Vergleich zum Hochwasser um bis zu 1 bis 1,5 K höher. Diese Ergebnisse hängen damit zusammen, dass die Messungen unterhalb vom Kraftwerk vorgenommen wurden und bei Hochwasser die Wärmefahne flussaufwärts gerichtet ist, so dass keine Temperaturerhöhung durch die Wärmeeintrag des KKW festzustellen ist.

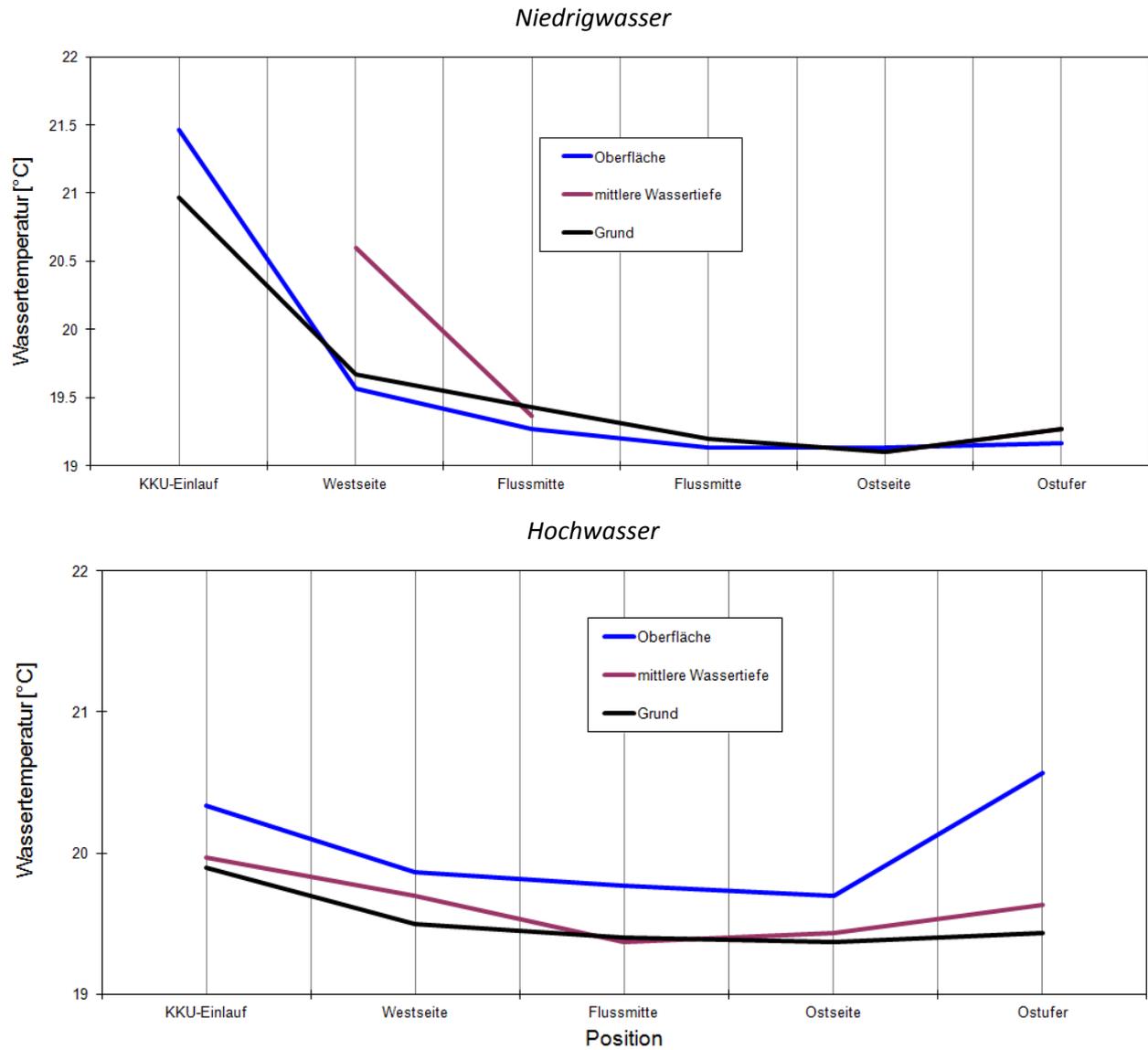


Abb. 32: Querprofile der Wassertemperatur in der Weser: Am 6.9.2006 bei Niedrigwasser (oben) und am 7.9.2006 bei Hochwasser (unten) wurden am Kernkraftwerk-Unterweser Tiefenprofile der Wassertemperatur aufgenommen. (die genauen Positionen der Stationen sind in Abb. 9 dargestellt).

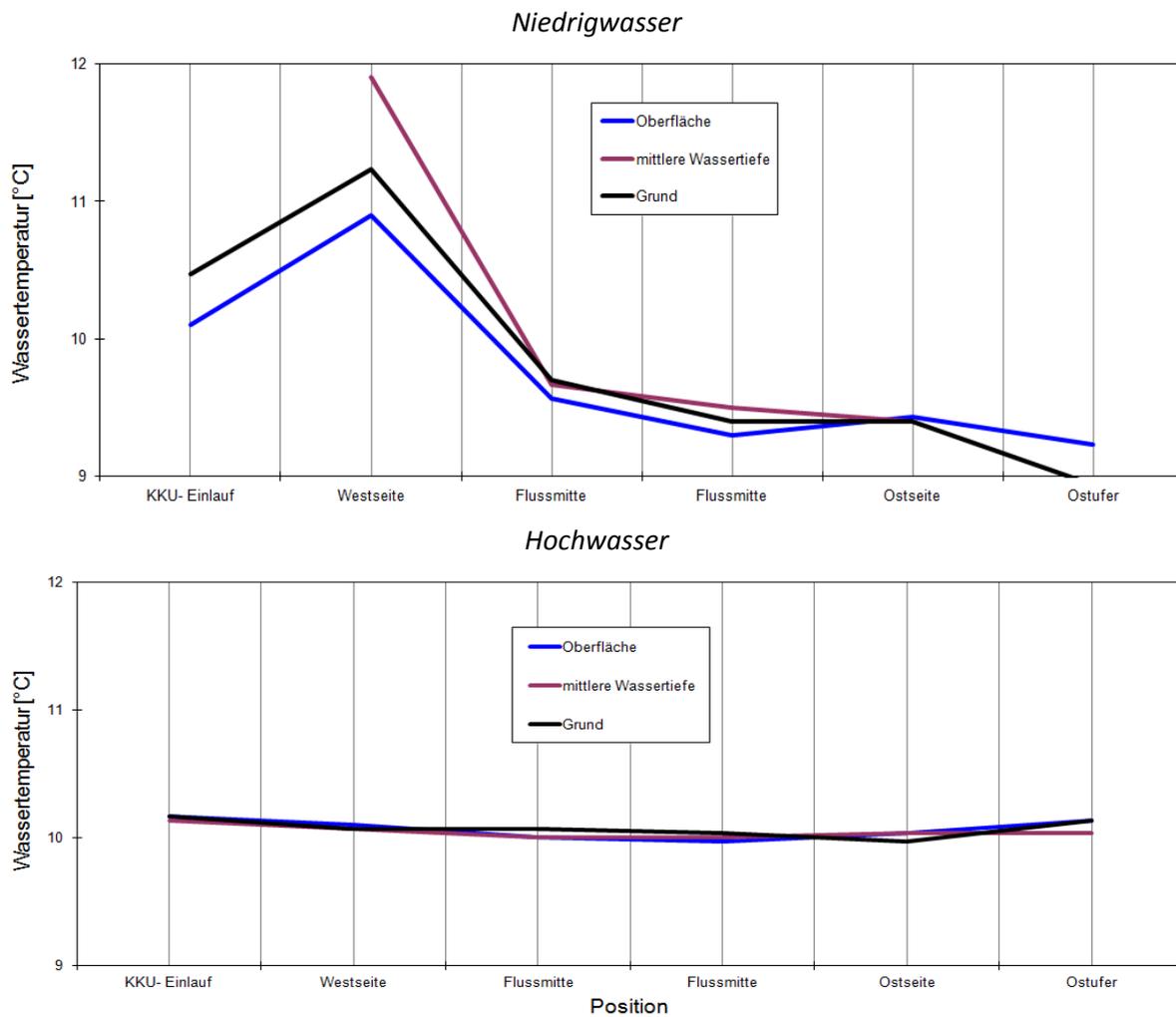


Abb. 33: Querprofile der Wassertemperatur in der Weser: Die dargestellten Querprofile der Wassertemperaturen wurden am 21.11.2006 bei Niedrigwasser (oben) und am 22.11.2006 bei Hochwasser (unten) auf der Höhe des Kernkraftwerks-Unterweser aufgenommen (die genauen Positionen der Stationen sind in Abb. 9 dargestellt).

Längsprofile der Wassertemperatur in der Weser (Flusskilometer 26 bis 80)

Für den Zeitraum von Januar 2008 bis September 2012 lagen Längsprofile der Wassertemperatur in der Unterweser vor, die zwischen den Flusskilometern 26 und 80 monatlich aufgenommen worden sind und die auf der Flussseite gemessen wurden, an der das KKU liegt. Diese Profile erlaubten eine Abschätzung des über den Wärmeeintrag des KKU bedingten Temperaturanstiegs in die Unterweser und über die Ausdehnung der Wärmefahne. In diesem Zusammenhang ist es wichtig zu wissen, dass das KKU Ende März 2011 heruntergefahren wurde und die täglichen Kühlwasservolumina von 2,5 bis 5 Mio. m³ auf unter 320000 m³ sanken.

Die Längsprofile in den Phasen mit sehr geringem Wärmeeintrag (Abb. 34) unterscheiden sich deutlich von jenen, die während hoher Wärmeeinträge aufgenommen wurden (Abb. 35). Bei geringem Wärmeeintrag ist flussabwärts eine kontinuierliche Abnahme der Wassertemperatur um ca. 2 K zu erkennen und in der Regel tritt kein signifikanter Anstieg der Wassertemperatur im Bereich des KKU auf.

Hingegen ist bei hohem Wärmeeintrag im Bereich zwischen den Flusskilometern 35 und 60 bis 70 ein deutlicher Anstieg der Wassertemperatur bis ca. 2 K zu erkennen. Das deutet auf eine Wärmefahne hin, die sich damit bis über 35 km erstreckt. Durch das Tidegeschehen gelangt während der Flutphase das erwärmte Wasser um ca. 16 km flussaufwärts und während der Ebbphase dehnt sich der Bereich mit erhöhten Temperaturen um 10 bis 20 km flussabwärts aus.

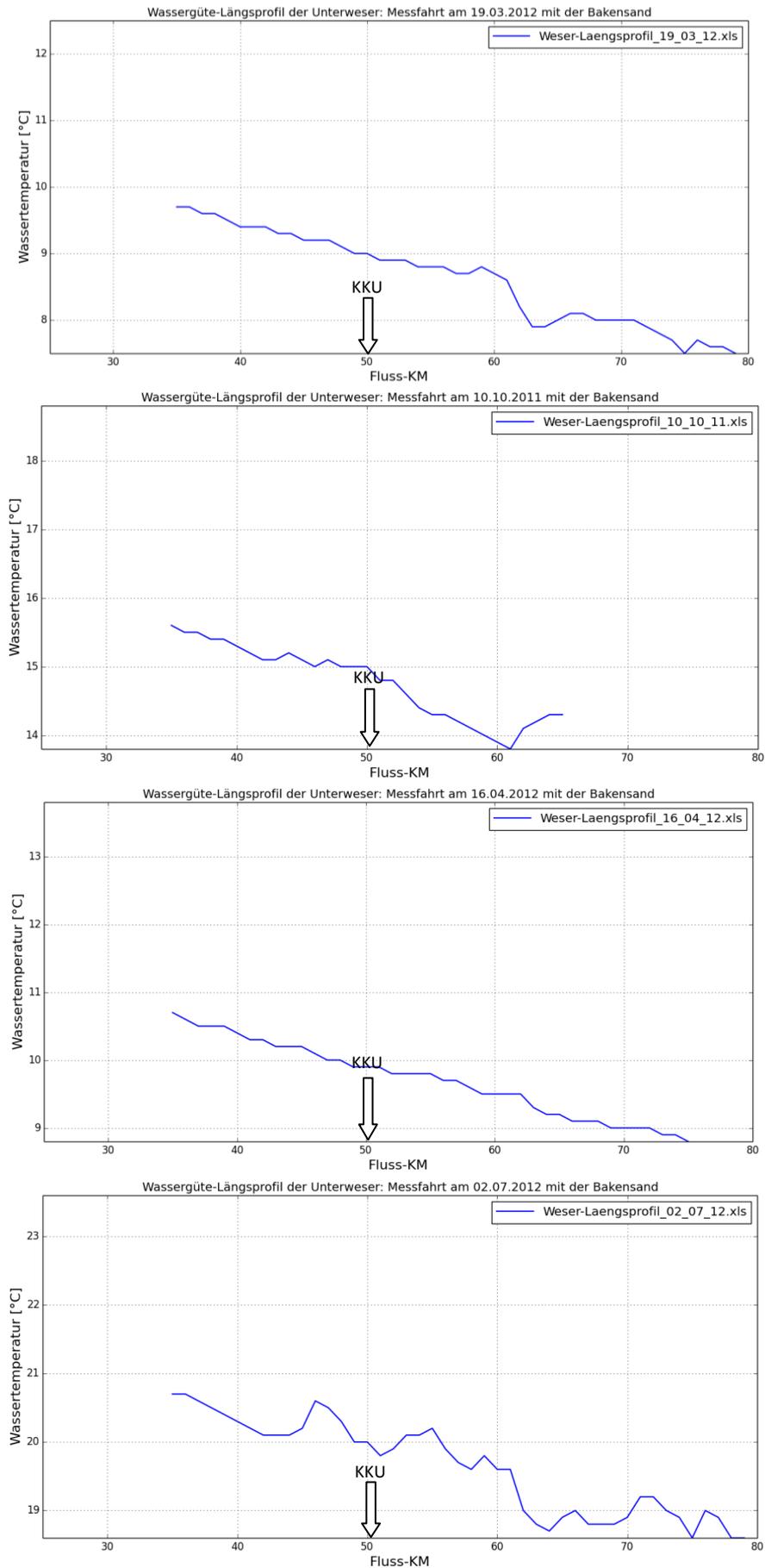


Abb. 34: Temperatur-Längsprofile der Weser nach geringen Wärmeeinträgen: Dargestellt sind die 4 Profile mit den geringsten Wärmeeinträgen über die vorangegangenen 10 Tage.

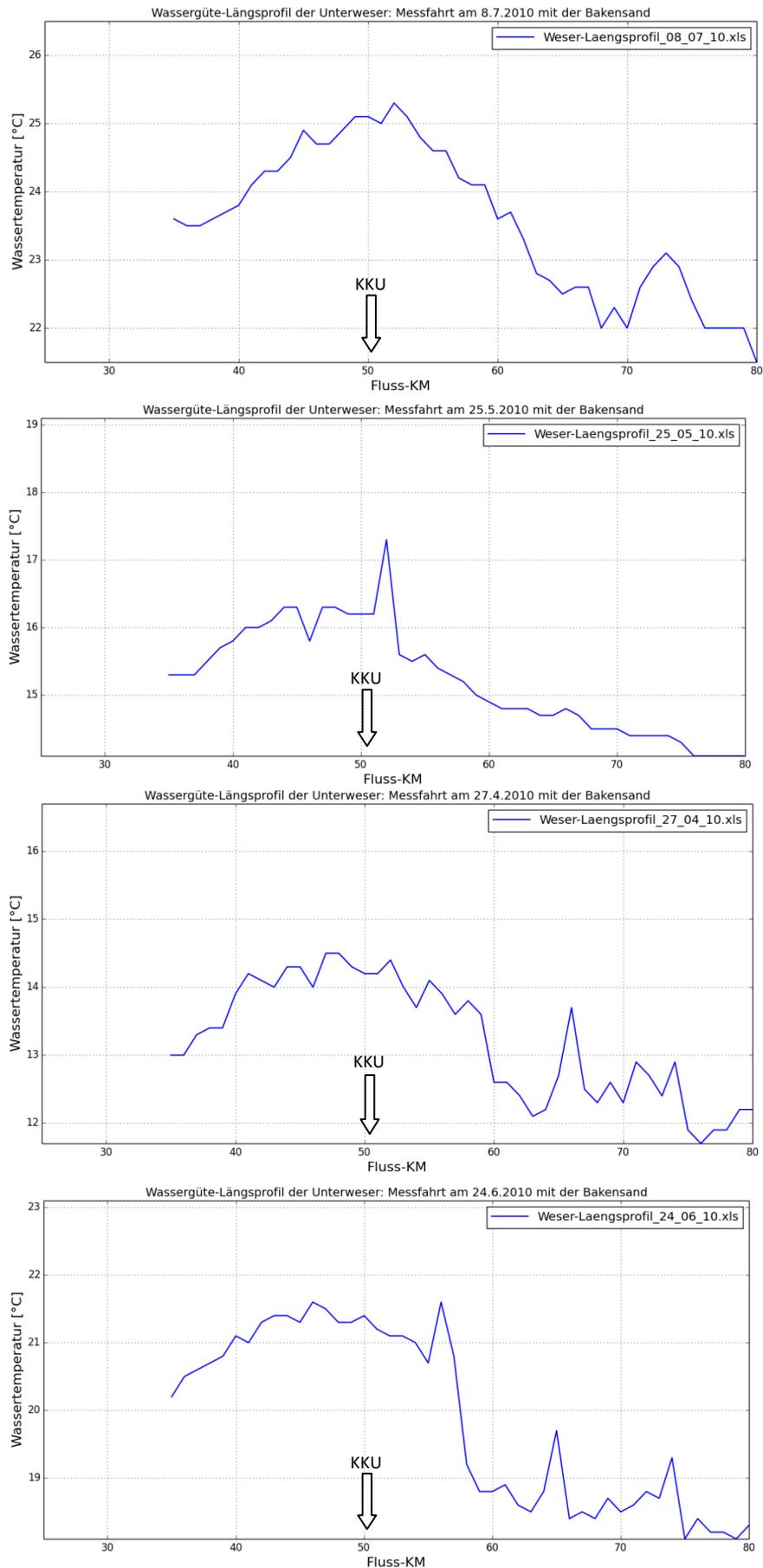


Abb. 35: Temperatur-Längsprofile der Weser nach sehr großen Wärmeeinträgen: Dargestellt sind die 4 Profile mit den größten Wärmeeinträgen über die vorangegangenen 10 Tage.

Am 25.5.2010 trat darüber hinaus auf der Höhe des Kraftwerks ein Peak mit einer zusätzlichen Temperaturerhöhung von 1 K auf. Diese Spitze ist in den Längsprofilen häufig zu beobachten und kann bis zu 2,5 K hoch sein (z. B. am 10.3.2009, siehe Abb. 36). Lokal begrenzt kann es daher zu einer Temperaturerhöhung von bis zu 3,5 K kommen.

Grundsätzlich entsprechen die Längsprofile in der Betriebsphase des KKW dem in Abb. 35 dargestellten Muster für die Zeiten mit hohem Kühlwassereintrag und nach Abschalten des Kraftwerkes wurden vorwiegend Verläufe festgestellt, die in Abb. 34 dargestellt sind.

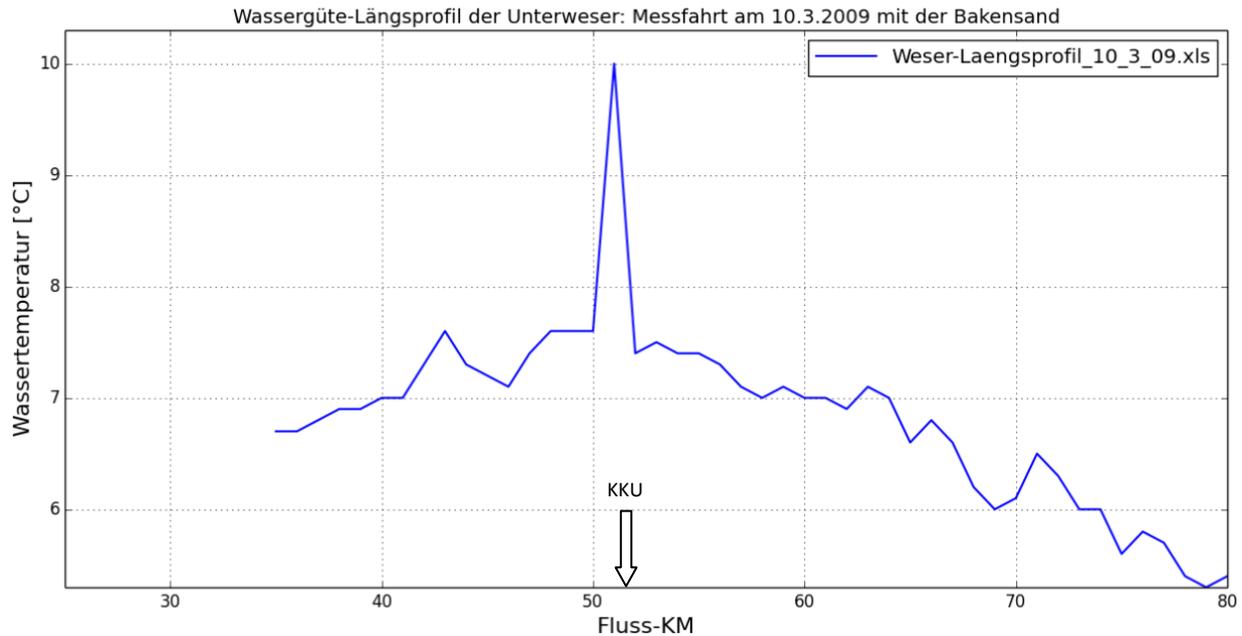


Abb. 36: Temperatur-Längsprofil der Weser am 10.3.2009: Diese Aufnahme weist mit 2,5 K den höchsten Peak im Bereich des KKW auf, der in den vorliegenden Profilen festzustellen war.

Einige Längsprofile, die während der Betriebsphase des KKW aufgenommen wurden, zeigen jedoch relativ geringe Schwankungen der Wassertemperatur. Dieser Umstand zeigt, dass ein einzelnes Längsprofil keine grundsätzliche Einschätzung der Wärmeverteilung um einen Einleiter herum erlaubt. Der Temperaturverlauf im Flusswasser wird nicht nur durch die Wärmeeinträge des Einleiters KKW sondern auch sehr stark durch natürliche Faktoren beeinflusst, wie z. B. der Abfluss des Gewässers und das Tidesgeschehen sowie die Strömung und Wind. Zudem kann es vorkommen, dass sich die Wärmefahne auf den Bereich zwischen dem linken Ufer und dem Längsprofil beschränkt und daher die Wärmefahne von den Temperaturmessungen nicht oder nur teilweise erfasst wird. Diese Situation wird durch die in Abb. 32 und Abb. 33 dargestellten Querprofile sehr gut beschrieben.

Der Peak, der in einigen Längsprofilen in der Nähe des KKW zu finden ist, variiert interessanterweise in seiner Position um mehrere Kilometer im Bereich von Flusskilometer 50 bis 55 (Abb. 39 im Kapitel 7.1.1 Mischungszone). Anscheinend gelangt das am Boden eingetragene Kühlwasser (siehe Position der Einleitung in Abb. 8) in den dargestellten Beispielen erst nach einigen Kilometern an die Oberfläche. Anhand der angegebenen Tidephasen ist gut zu erkennen, wie sich der Peak mit fortschreitendem Abfluss flussabwärts bewegt. Möglicherweise handelt es sich bei dem Peak auch um das Wasser, dass sich während der Hochwasser-Stauphase am KKW angesammelt hat und jetzt als Warmwasserlinse flussabwärts fließt.

Ausdehnung der Wärmefahnen im Längsprofil

Wie im vorherigen Abschnitt beschrieben, kommt es durch die Kühlwasser-Einleitungen des KK-Unterweser im Bereich zwischen Flusskilometer 30 und 70, zu Temperaturerhöhungen, die sich je nach Tidephase, Weserabfluss und Einleitungsmenge über einen Bereich von 20 bis über 30 km ausdehnen (siehe Abb. 34

bis Abb. 36). Großräumig können Temperaturerhöhungen um 1 bis 2 K auftreten. 3 K werden nur punktuell in der Nähe der Einleitung übertroffen (Abb. 36).

Eine Überschreitung des 2 K Grenzwertes während des KKW-Betriebs wurde in 26 von 38 Längsprofilen festgestellt. Die Länge des Bereiches, für den diese Überschreitung festgestellt wurde, schwankt zwischen 1 und 7 km mit einem Mittelwert von 2 und einem Median von 1 km.

Für die Weser wurde das Längsprofil vom 8.1.2009 analysiert (Abb. 37), in dem der Bereich mit einer Überschreitung von 2 K mit 7 km am längsten war. Die Bereiche, in denen die Temperaturerhöhung mehr als 0,5 K, 1 K und 2 K beträgt sind 30, 23 und 7 km lang. Abb. 38 zeigt die drei Bereiche in einem Kartenausschnitt der Weser. Von den 44 Flusskilometern des Übergangsgewässers Weser sind damit 30 km = 68 % durch eine Temperaturerhöhung von mehr als 0,5 K betroffen (siehe Tab. 18).

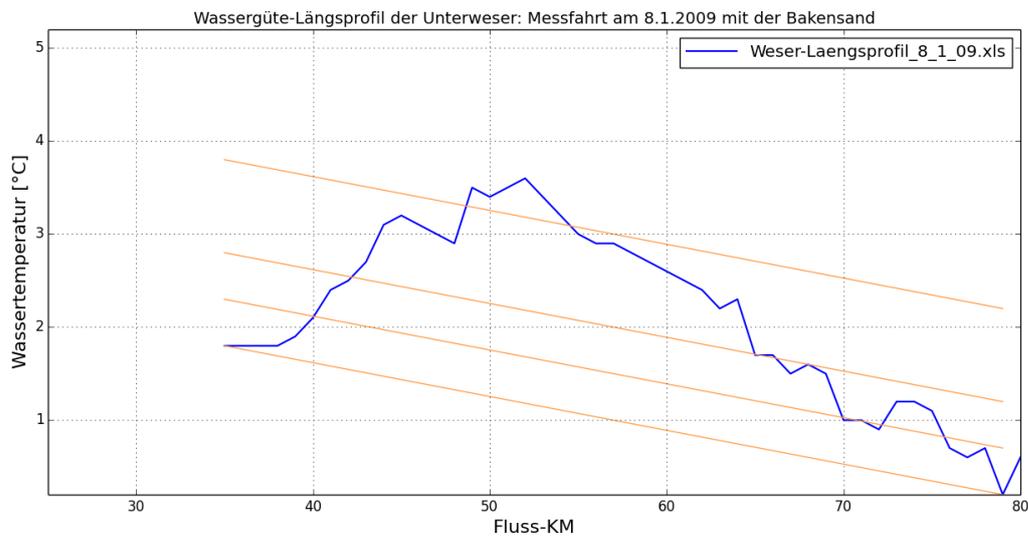


Abb. 37: Längsprofil der Wassertemperatur in der Unterweser vom 8.1.2009: Die niedrigsten Temperaturwerte am Anfang (< 40 km) und am Ende des Profils (> 70 km) wurden mit einer Linie verbunden, die als Referenzlinie interpretiert wird. Zusätzlich sind die Parallelen dargestellt, die um jeweils 0,5 K, 1 K und 2 K erhöht sind. Die Schnittpunkte mit der Zeitreihe definieren die Bereiche mit einer Temperaturerhöhung von > 0,5 K, 1 K und 2 K.

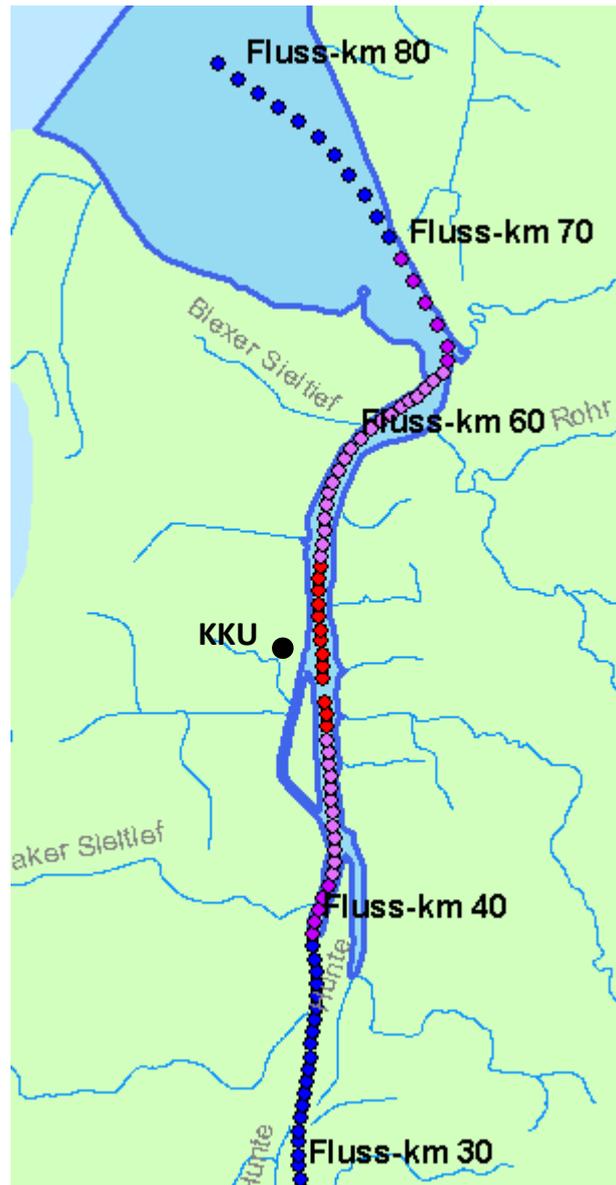


Abb. 38: Ausdehnung der Wärmefahne am 8.1.2009: Dargestellt sind die Abschnitte mit einer Temperaturerhöhung von 0,5 (dunkel violett), 1 (hell violett) und 2 K (rot) im Bereich des KK-Unterweser.

Position der maximalen Temperaturerhöhung im Längsprofil

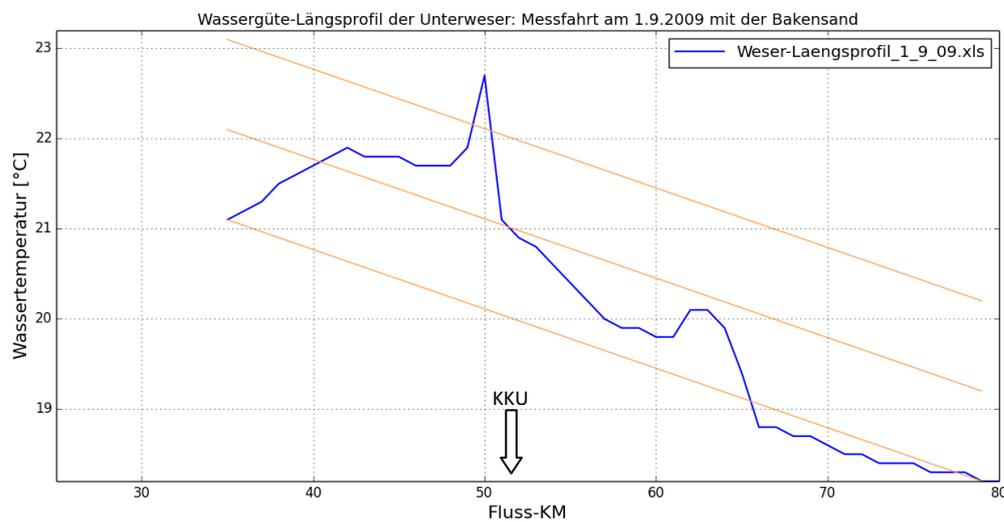
Für die Bewertung von Wärmeeinleitungen wird häufig die Wassertemperatur am Rand der Mischungszone herangezogen. Die Mischungszone ist sehr variabel und kann sich in Abhängigkeit u. a. der Strömungs- und Wetterverhältnisse unterschiedlich ausbreiten (Langford 1990). Sie wird in dieser Studie definiert als Bereich zwischen der Einleitungsstelle und dem Ort der Beurteilung, maximal 500 m von der Einleitungsstelle gelegen (Wärmelastplan Elbe 2008). Die Ausbildung und Variabilität der Mischungszone ist von vielen Faktoren (u. a. Wassertiefe der Einleitung, Geometrie des Einleiters, Strömungsgeschwindigkeit, Uferbeschaffenheit) abhängig. Insbesondere im Falle von Einleitungen in Bodennähe ist die Wärmefahne an der Wasseroberfläche erst in einiger Entfernung zu beobachten. Daher muss die obige Definition für jeden Einleiter individuell überprüft werden, zum Beispiel durch Fernerkundung.

In tidebeeinflussten Gewässern ist die genaue Abgrenzung der Mischungszone nicht möglich, da sie sich durch die Tidebewegung hin- und her bewegt. Es muss beachtet werden, dass sich auch die Strömungsgeschwindigkeiten in Abhängigkeit der Tidephase und der Wettersituation verändern.

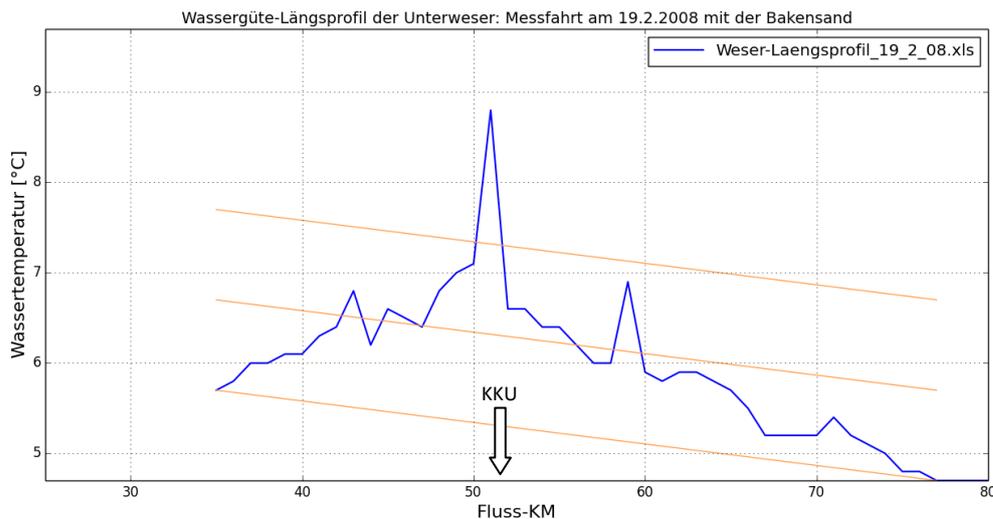
Abb. 39 illustriert diesen Umstand am Beispiel des KKU. Es sind Längsprofile dargestellt, in denen die maximale Temperaturerhöhung in verschiedenen Tidephasen (nach Hochwasser) jeweils an den Flusskilometern 50, 51, 53 und 55 auftrat. Im ersten Beispiel 0:46 h nach Hochwasser wurde der Temperaturpeak kurz oberhalb vom Standort des KKU beobachtet (Abb. 39 a). Im letzten Beispiel trat der Peak 2:58 h nach Hochwasser erst 3,5 km unterhalb vom KKU auf (Abb. 39 e). Dabei ist die Position des Peaks deutlich mit der Tidephase korreliert. Der Temperaturpeak bewegt sich in Abhängigkeit der Tidephase während der Hochwasserphase flussabwärts und scheint sich innerhalb von 2 h um 5 km zu bewegen.

Entweder erreicht das am Boden eingelassene Kühlwasser am KKU erst am Ort des Temperaturmaximums die Oberfläche, oder es handelt sich um eine Wasserlinse, die sich in der Stauwasserphase des Hochwassers im Bereich des KKU bildet und bei abfließendem Wasser flussabwärts strömt.

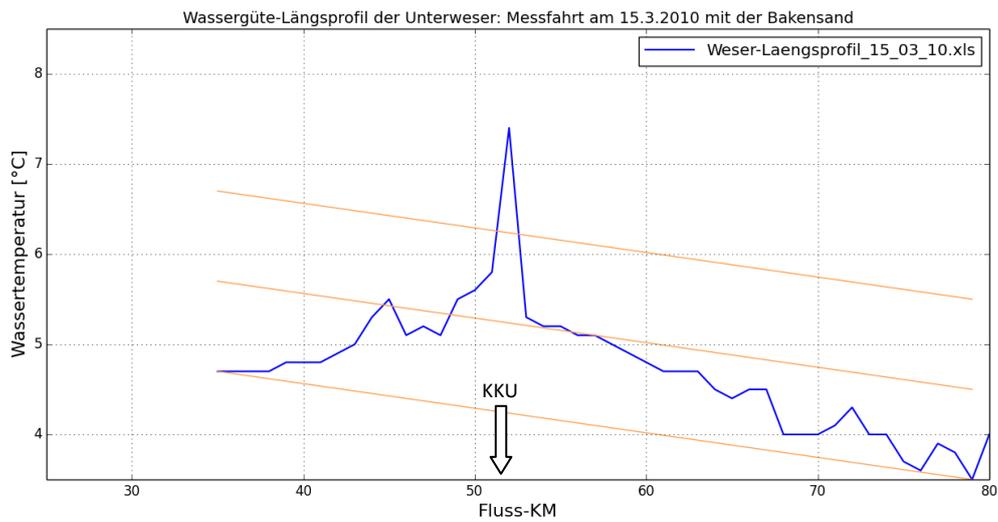
a) 0:46 h nach HW (BHV)



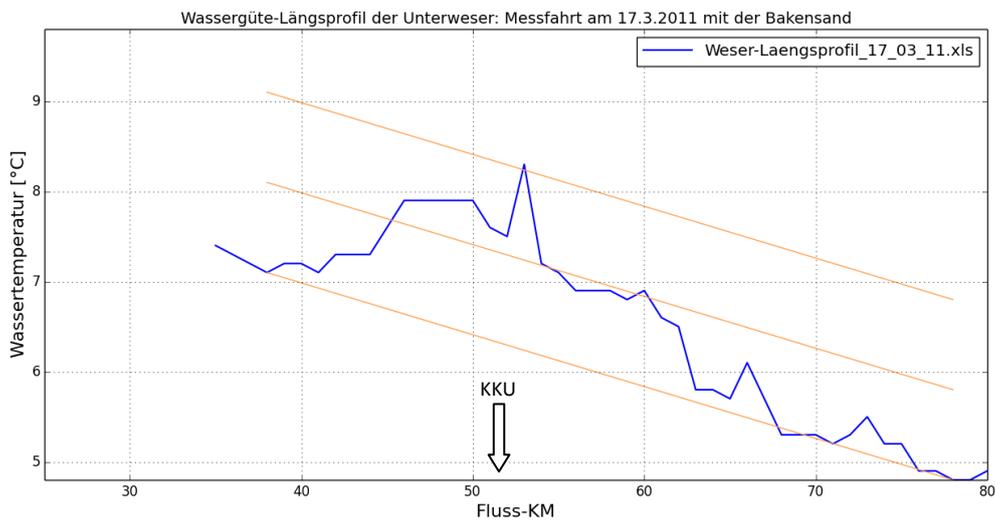
b) 1:21 nach HW (BHV)



c) 1:50 nach HW (BHV)



d) 2:38 h nach HW (BHV)



e) 2:58 h nach HW (BHV)

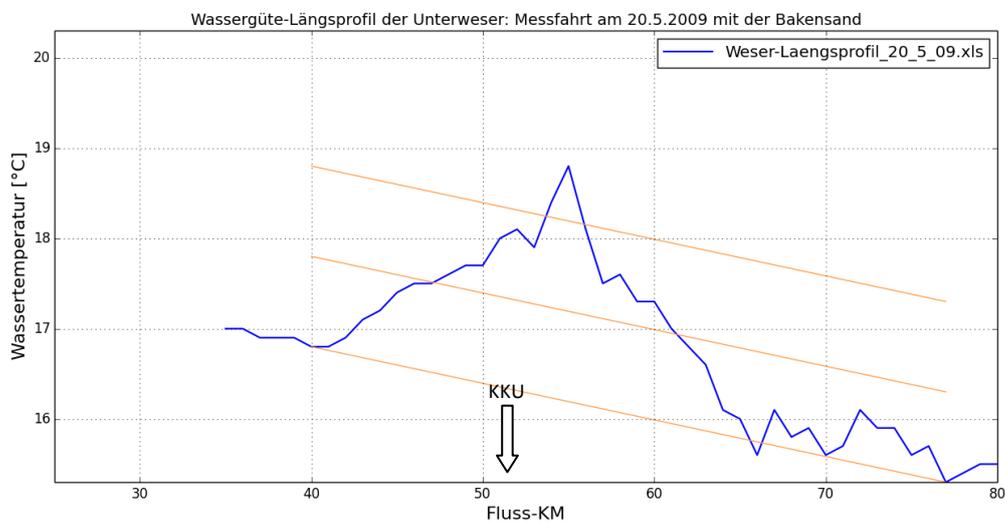


Abb. 39: Längsprofile der Weser: Die Längsprofile weisen im Kilometerbereich von 50 bis 55 km einen eindeutigen Peak auf, der auf das Kühlwasser hindeutet, das vom KKU eingetragen wurde.

Einfluss der Höhe der Wärmeeinträge auf die Ausdehnung der Wärmefahne

Um die Längsprofile zu quantifizieren, wurde das Integral unter dem Längsprofil bezogen auf eine Referenztemperatur bestimmt, wie in Abb. 40 illustriert. Hierzu wurde in Anlehnung an die Längsprofile in Phasen geringer Wärmeeinträge (siehe Abb. 34), eine Basislinie in die Längsprofile eingefügt, welche die angenommene Referenztemperatur darstellt, die bei fehlendem Wärmeeintrag zu erwarten wäre. Diese Basislinie wurde bestimmt, indem der niedrigste Wert im Bereich Flusskilometer < 40 mit dem niedrigsten Wert im Bereich Flusskilometer > 70 verbunden wurde (siehe Abb. 40, untere orangefarbene Linie). Zusätzlich sind in die folgenden Diagramme auch die Linien eingezeichnet, welche die Referenztemperatur plus 1 K bzw. 2 K darstellen.

In einem weiteren Schritt wurde das Integral zwischen der 1K-Linie und dem Längsprofil bestimmt (in der Abbildung blau markiert). Dieses stellt ein Maß für die Länge der Wärmefahne dar, wobei nur der Abschnitt berücksichtigt wird, in dem der Anstieg mindestens 1 K beträgt. Hierzu müssen in dem jeweiligen Abschnitt, in dem der Messwert oberhalb der 1 K-Linie liegt, zu jedem Flusskilometer die Differenz zwischen dem Messwert und der 1 K-Linie berechnet und aufsummiert werden. Multipliziert man die Summen mit dem Abstand zwischen den Messstationen (= 1 km), so erhält man das Integral mit der Einheit „K * km“.

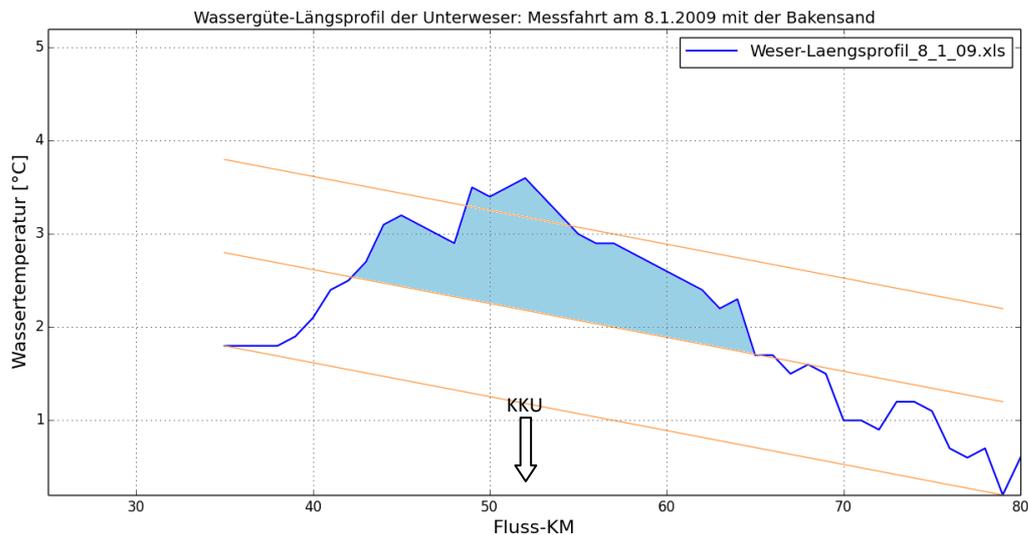


Abb. 40: Quantifizierung der Temperatur-Längsprofile in der Weser (Flusskilometer 26 bis 80): Dargestellt ist das Längsprofil vom 8.1.2009. Das Diagramm illustriert das Vorgehen zur Bestimmung des Integrals zwischen der 1 K-Referenzlinie und dem Längsprofil. Für nähere Erläuterungen siehe Text.

Im Mittel ergeben sich während der Betriebsphase des KKU deutlich höhere Integral-Werte als nach Abschaltung des KKU (17,0 gegenüber 1,2 K * km, siehe Tab. 20) und die Abschnitte, in denen eine Temperaturerhöhung von über 1 K festgestellt wurde sind mit 11,3 km deutlich länger.

Allerdings besteht zwischen den beiden Größen „1K-Integral“ und „Wärmeeintrag“ keine signifikante Korrelation (Abb. 41). Das 1K-Integral als Maß für die Größe der Wärmefahne im Längsprofil schwankt in den Zeiträumen, in denen der Wärmeeintrag mit über 40 Mio. K * m³ sehr hoch war (siehe Y-Achse in Abb. 41), fast beliebig zwischen 1 und 41 K * km (siehe Y-Achse in Abb. 41) ohne erkennbaren Trend.

Dieser Befund ist ein weiteres Indiz dafür, dass das Längsprofil die Wärmefahne nicht vollständig erfasst und manchmal sogar gar nicht schneidet. Im letzteren Fall beschränkt sich die Wärmefahne auf einen Teil der linken Flussseite, ist also deutlich schmaler als 50 % der Flussbreite.

Tab. 20: Auswertung der Längsprofile für die Wassertemperatur in der Weser: Dargestellt sind für die Zeit vor und nach der Außerbetriebstellung des Kraftwerkes KKW das Tagesmittel des Wärmeeintrages, die Länge des Abschnittes, in denen die Wassertemperatur die Basislinie um 0,5 K übersteigt, die in diesem Abschnitt gemessene mittlere Temperaturerhöhung in Bezug auf die Basislinie und das Integral des Längsprofils oberhalb der Basislinie.

Zeitraum	Tagesmittel Wärmeeintrag [K * m ³]	1 K-Abschnitt [km]	Mittlere Temperaturerhöhung im 1 K-Abschnitt [K]	Mittleres 1K-Integral [K * km]
01/2008 - 03/2011	49.027.490	11,3	1,5 K	17,0
04/2011 - 09/2012	161.999	1,0	< 1 K	1,2

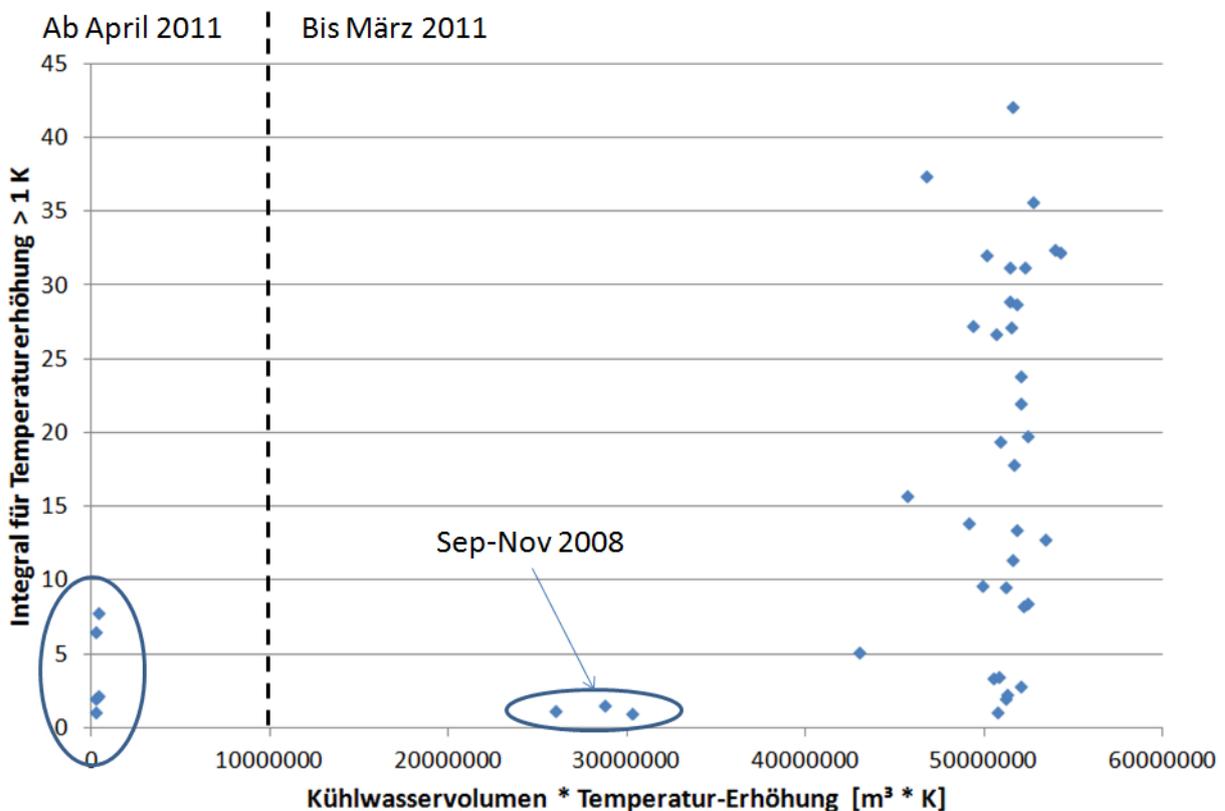


Abb. 41: Analyse der Längsprofile der Wassertemperatur in der Weser: Dargestellt sind die Integrale für die Temperatur in den Abschnitten, in denen der angenommene Basiswert um mehr als 1 K überschritten wird, als Funktion des mittleren Wärmeeintrages der letzten 10 Tage (Volumen * Temperaturdifferenz). Dabei wurde der Kilometerbereich 35 bis 65 berücksichtigt.

Vergleich von Messungen an der Oberfläche und in Bodennähe (Weser)

Mit den kontinuierlichen Weser-Pegelmessungen der WSV liegen Temperaturmessungen in Bodennähe vor (ca. 1 m über Grund). Diese wurden mit den Messungen der Längsprofile verglichen, um im Bereich des KKW zu überprüfen, ob die bodennahe Wassertemperatur durch die sich ausbreitende Wärmefahne beeinflusst wird. Dazu wurden für alle Längsprofile die Messzeitpunkte an den Stationen Brake, Rechtenfleth, Strohauserplate-Ost (SPO), Nordenham und Blexen notiert und die dazu passenden Messwerte aus den Pegelmessungen extrahiert (siehe Abb. 42).

In den meisten Fällen bewegen sich die Temperaturen der bodennahen Messungen im Bereich der Basislinie \pm 0,75 K. Das legt den Schluss nahe, dass die Temperaturerhöhungen im Bereich der

Wärmefahne den Boden nur zum Teil erreichen, es also zu keiner vollständigen Durchmischung, sondern eher zu einer Schichtung kommt. Nur in einem der vorliegenden Längsprofile geht eine sehr starke Wärmefahne mit einer Durchmischung der Wassersäule einher, so dass die Temperaturerhöhungen in Bodennähe ca. 1,5 °C erreichen (siehe Abb. 43 unten). Die Abbildung zeigt zwei Extrembeispiele mit sehr stark ausgeprägter Wärmefahne.

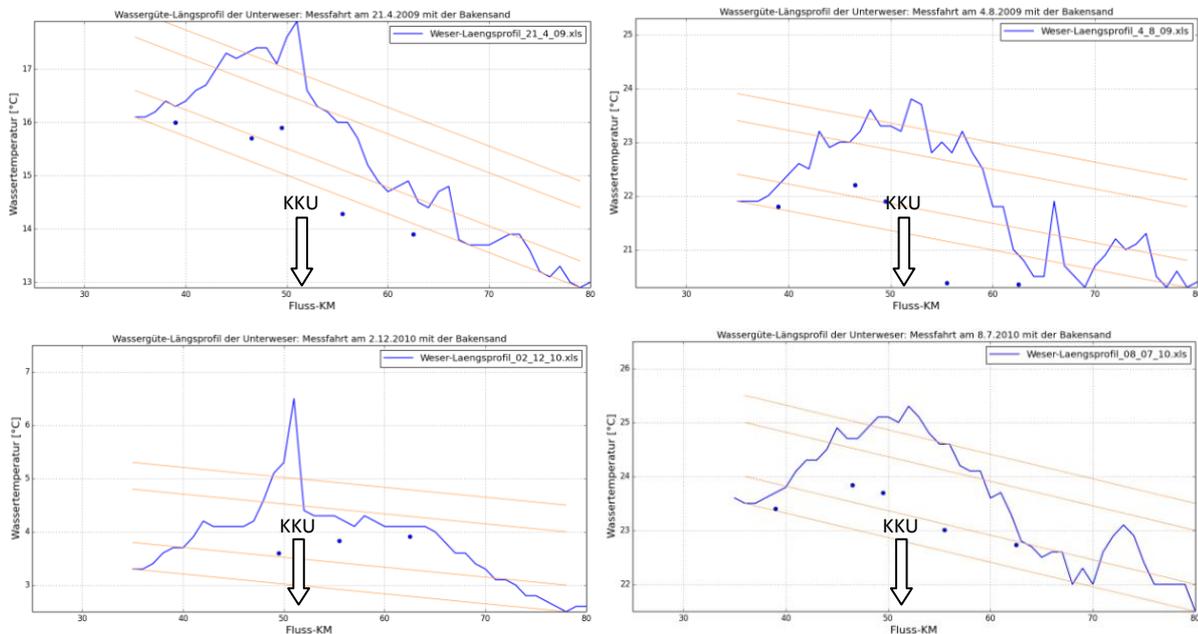


Abb. 42: Längsprofil der Wassertemperatur in der Weser: Neben den Längsprofilen mit oberflächennahen Messungen (blaue Linien) sind einzelne Messergebnisse aus bodennahen Messungen an den Pegelstationen des WSA BHV dargestellt (blaue Punkte). Die untere orangefarbene Linie stellt die angenommene Basislinie dar und die darüber liegenden dazu parallelen Linien zeigen die Überschreitung der Grenzwerte 0,5, 1,5 und 2 K an. Es sind die Längsprofile mit dem zweit- bis fünftgrößten Wärmeeintrag des KKU in den vergangenen 10 Tagen (oben) dargestellt.

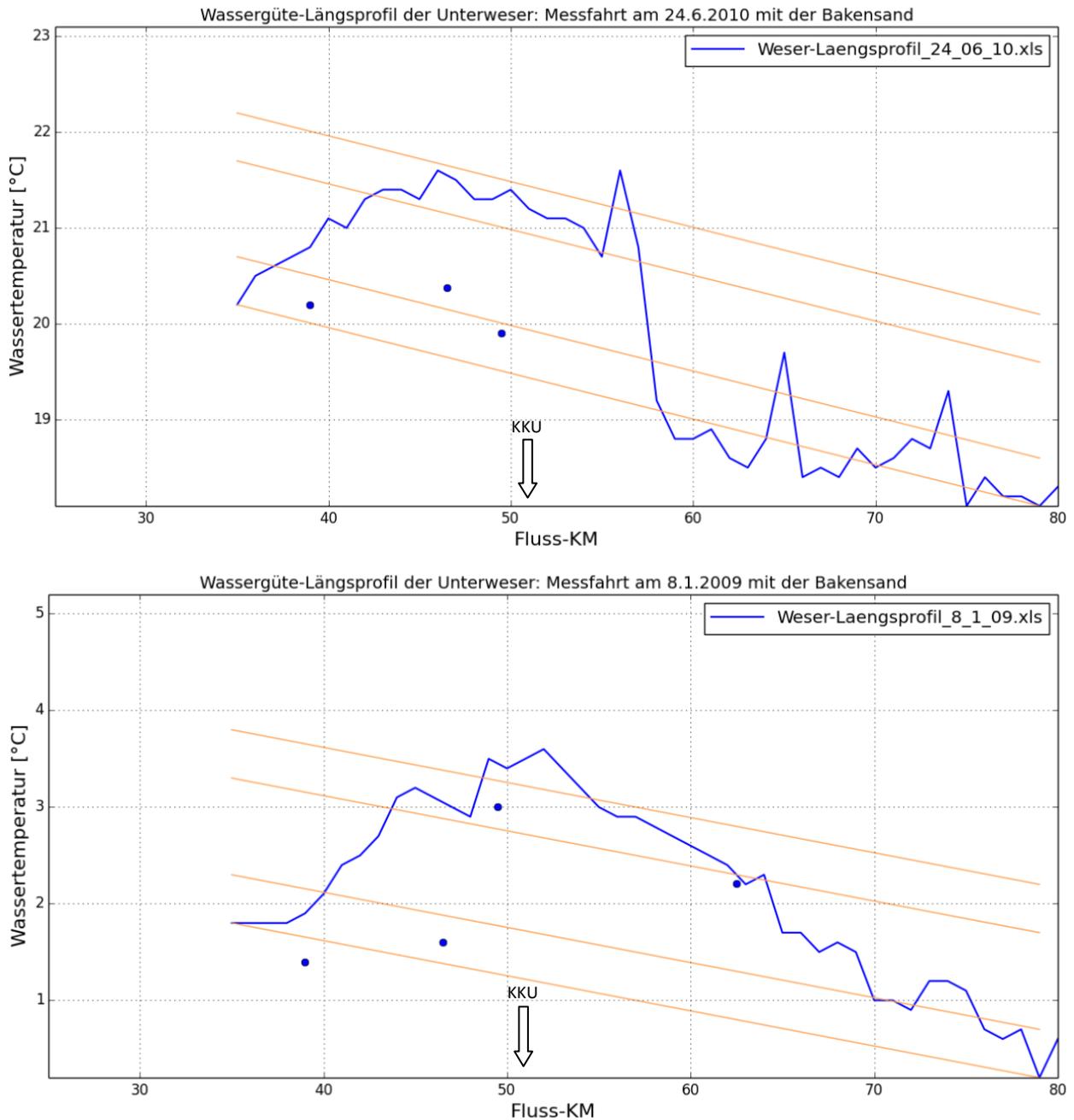


Abb. 43: Längsprofil der Wassertemperatur in der Weser: Neben den Längsprofilen mit oberflächennahen Messungen (blaue Linien) sind einzelne Messergebnisse aus bodennahen Messungen an den Pegelstationen des WSA BHV dargestellt (blaue Punkte). Die untere orangefarbene Linie stellt die angenommene Basislinie dar und die darüber liegenden dazu parallelen Linien zeigen die Überschreitung der Grenzwerte 0,5, 1,5 und 2 K an. Es sind die beiden Extrembeispiele mit dem größten Wärmeeintrag des KKV in den vergangenen 10 Tagen (oben) und das Beispiel mit dem größten Integral oberhalb der 0,5 K-Linie (unten) dargestellt.

Erfassung der räumlichen Ausdehnung von Wärmefahnen in der Weser mit Fernerkundungsdaten

Am Kraftwerk in der Unterweser sind Profile gelegt worden, entlang derer die Temperaturwerte aus den hochaufgelösten Satellitendaten extrahiert wurden. Ein Profil läuft dabei durch die Wärmefahne, weitere Profile dienen als Referenz und verlaufen neben der Wärmefahne. Abb. 44 zeigt die Lage der Profile am KKV, während Abb. 45 ein Beispiel für einen Aufnahmeterrn (vom 21.09.2006) mit entsprechenden Profilen - durch die Wärmefahne (westliches Profil) und Referenzprofil (östliches Profil) - zeigt.

KK Unterweser

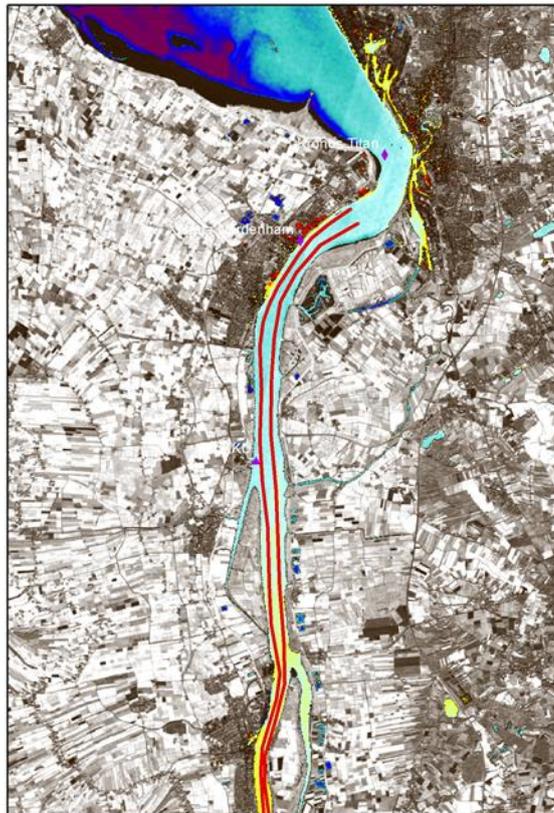


Abb. 44: Lage der Profile am KKU.

Längsprofile Temperatur KKU 21.09.2006

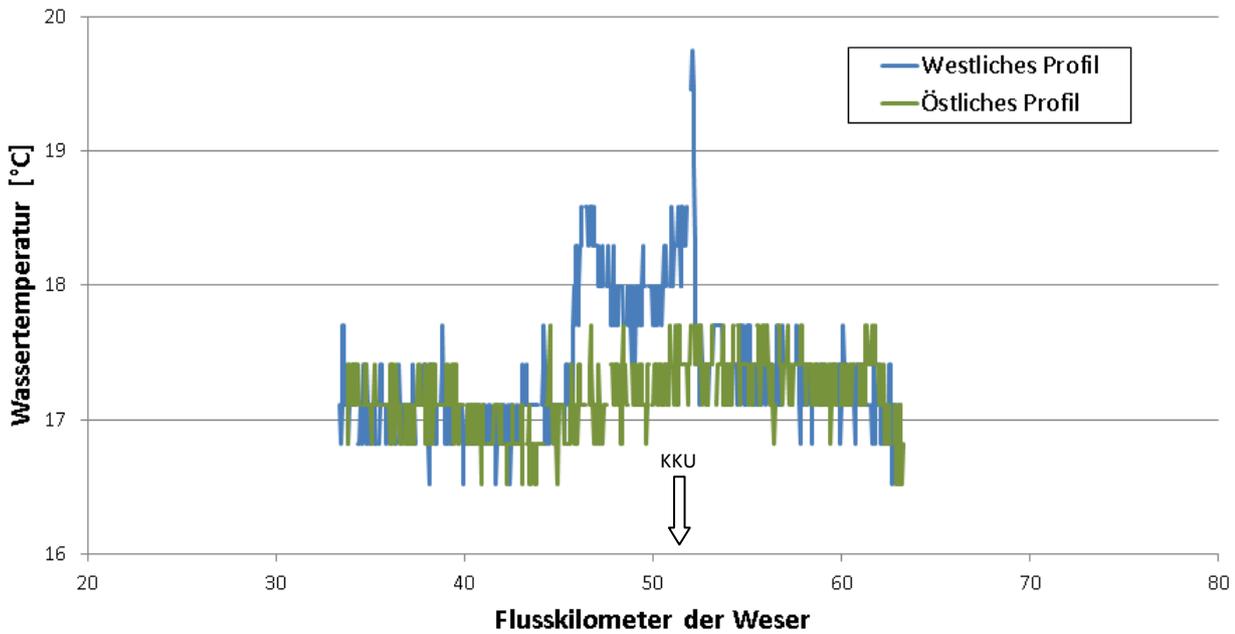


Abb. 45: Längsprofile durch die Wärmefahne am KKU vom 21.09.2006. , Das westliche Profil läuft durch die Wärmefahne, das östliche Profil ist das Referenzprofil.

Abb. 46 zeigt einen Vergleich der Temperaturverläufe entlang des westlich verlaufenden Profils an drei verschiedenen Aufnahmeterrnen. Die Temperaturdaten sind hierfür in relative Temperaturdifferenzen umgerechnet worden (relativ zur Umgebungstemperatur), um die Profile auf der gleichen Achse darstellen

zu können. Man sieht, dass sich bei allen drei Terminen ein Temperaturpeak am KKU ausbildet und dass am 15.10.2009 eine Temperaturerhöhung (> 5 K) bis zum Flusskilometer 35 erkennbar ist.

Die Aussagen aus den Ergebnissen der FE sind vergleichbar mit den Längsprofilmessungen (s. o.).

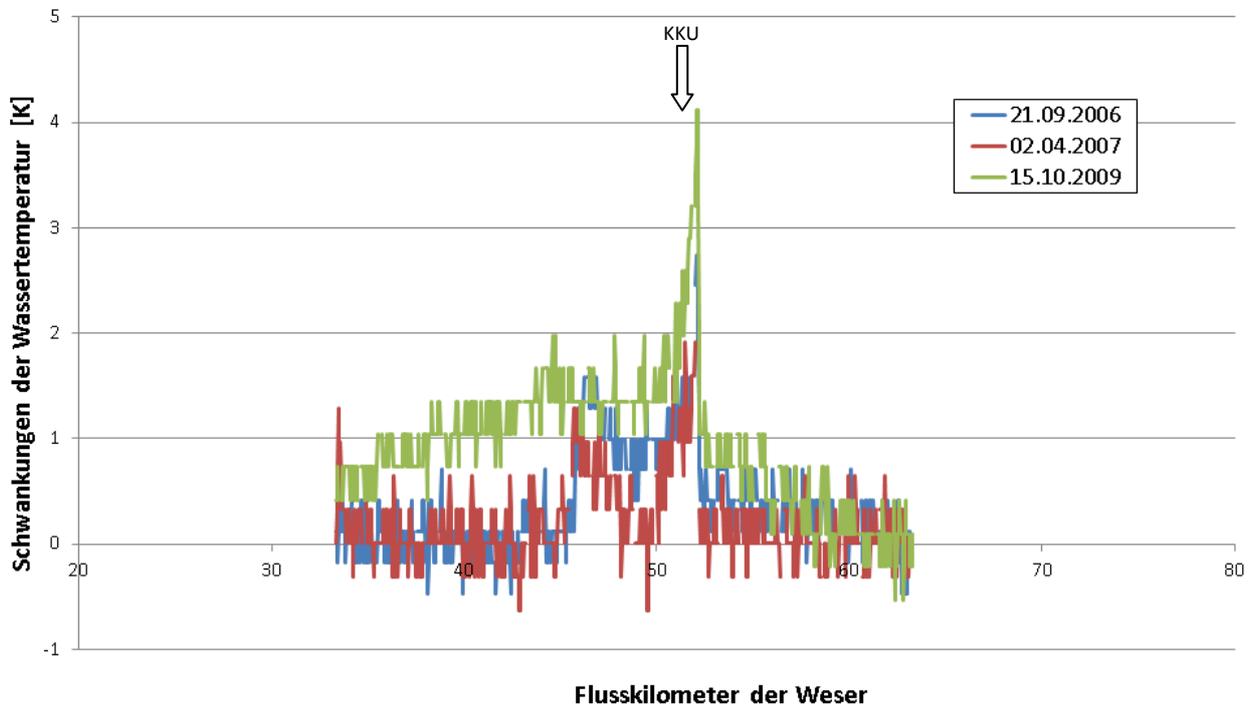


Abb. 46: Längsprofile durch die Wärmefahne des KKU an drei verschiedenen Aufnahmetermi-
nen.

Die flächenhafte Ausdehnung der Wärmefahnen in der Weser wurde, ebenso wie im Falle der Jade, aus FE-Daten aus drei Aufnahmetermi-
nen abgeleitet (siehe Abb. 47), bei weiterer Nutzung dieses Verfahrens, könnten weitere Aufnahmetermi-
ne berücksichtigt werden.

In Abb. 47 dehnen sich die Bereiche mit Temperaturerhöhungen beim KK-Unteres insgesamt ca. 12 km aus, je ca. 6 km flussaufwärts und flussabwärts. Die von der Abwärme beeinträchtigte Breite der Weser ist aus den FE Bildern sehr gut abzulesen. Der Bereich >1K ist höchstens auf ¼ der Flussbreite beschränkt.

In der Abbildung ist außerdem die Einleitung durch Nordenhamer Zinkhütte GmbH (früher XStrata) bei Nordenham sehr gut zu erkennen. Jedoch ist der Bereich mit einer deutlichen Temperaturerhöhung sehr klein und die Wärmefahne beschränkt sich auf eine Länge von weniger als 2 km Länge.

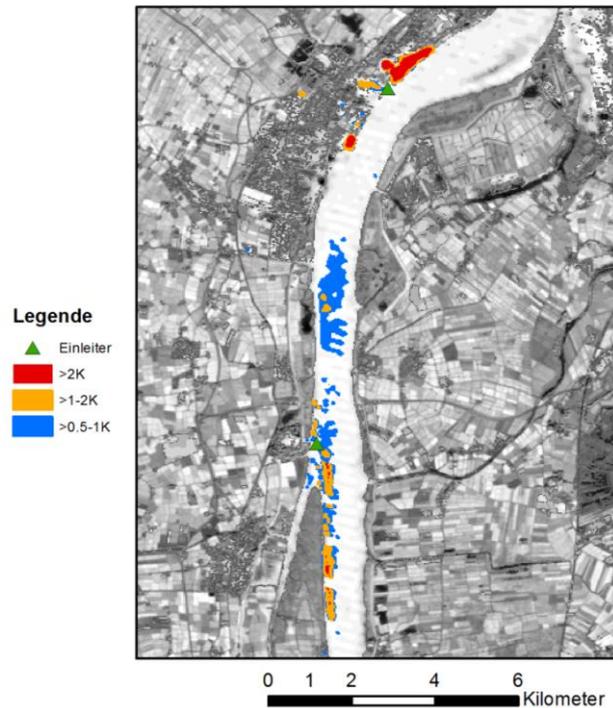


Abb. 47: Ausdehnung verschiedener Wärmebereiche im Umkreis des Kraftwerks KKU.

4.3.3 Ausdehnung der Wärmefahnen in der Elbe

Die Ausdehnung von Kühlwasserfahnen in der Elbe wurde im Rahmen einer Simulation durch DHI/WASY (DHI/WASY 2010) beschrieben. Dabei wurden die Auswirkungen von geplanten Kühlwassereinleitungen untersucht, wozu insgesamt 9 Wärmeeinheiten (WE) mit einer Temperaturdifferenz von 6 K und einem Volumenstrom von 30 m³/s simuliert wurden. Von diesen WE mit jeweils einer thermischen Energie von 800 MW waren zwei WE in Moorburg, drei bei Stade und vier in Brunsbüttel positioniert. Da in dem Belastungsszenario alle geplanten Wärmeeinleitungen gleichzeitig betrachtet wurden, konnten auch die gegenseitigen Beeinflussungen abgebildet werden. Die Temperaturverteilung der Tideelbe wurde für den ungünstigen Zustand ermittelt und orientierte sich an dem Jahrhundertssummer 2003, in dem der Abfluss der Elbe extrem niedrig war.

Abb. 48 stellt Simulations-Ergebnisse am Ende des Ebb- und des Flutstroms dar. Nach den Simulationsrechnungen am Ende des Ebbstroms erreicht die maximale Ausdehnung der Wärmefahne durch die Wärmeeinleitungen bei Stade 30 km mit einer Temperaturerhöhung von 0,5 - 1 K zwischen Vergleichs- (26-26,5 °C) und Belastungszustand (27 - 27,5 °C). Am Ende des Flutstroms reicht die Kühlwasserfahne mit einer Temperaturerhöhung von 0,5 bis 1 K stromaufwärts mit einer Länge von 20 km etwa bis Wedel. DHI/WASY (2010) geben an, dass die im Wärmelastplan angegebenen Grenzwerte im Bereich Stade dauerhaft eingehalten werden. Festzuhalten ist, dass die Ausdehnung der Wärmefahne mit um > 0,5 K erhöhter Temperatur 50 km beträgt und über die gesamte Flussbreite reicht.

Zur Einschätzung dieses Ergebnisses muss man berücksichtigen, dass die drei simulierten Wärmeeinheiten bei Stade eine thermische Wärmeenergie von $3 \cdot 800 = 2400$ MW entsprechen. Im Vergleich hierzu erzeugt das Kraftwerk Brokdorf (1410 MW) eine thermische Energie von ca. 2800 MW. Jedoch ist die Ausdehnung der Wärmefahne von 50 km als relativ groß anzunehmen, da die Simulation für einen ungünstigen Zustand mit sehr geringem Elb-Abfluss berechnet wurde.

In der Flutsimulation ist außerdem zu erkennen, dass erwärmtes Wasser vom Kraftwerk Brokdorf stromaufwärts bis in den Bereich gelangt, in dem die stromabwärts gerichtete Wärmefahne (> 0,5 K) aus



Stade endet. Interessanterweise zeigt die Simulation in dem dargestellten Kartenausschnitt jedoch keinen Einfluss durch die 4 WE in Brunsbüttel.

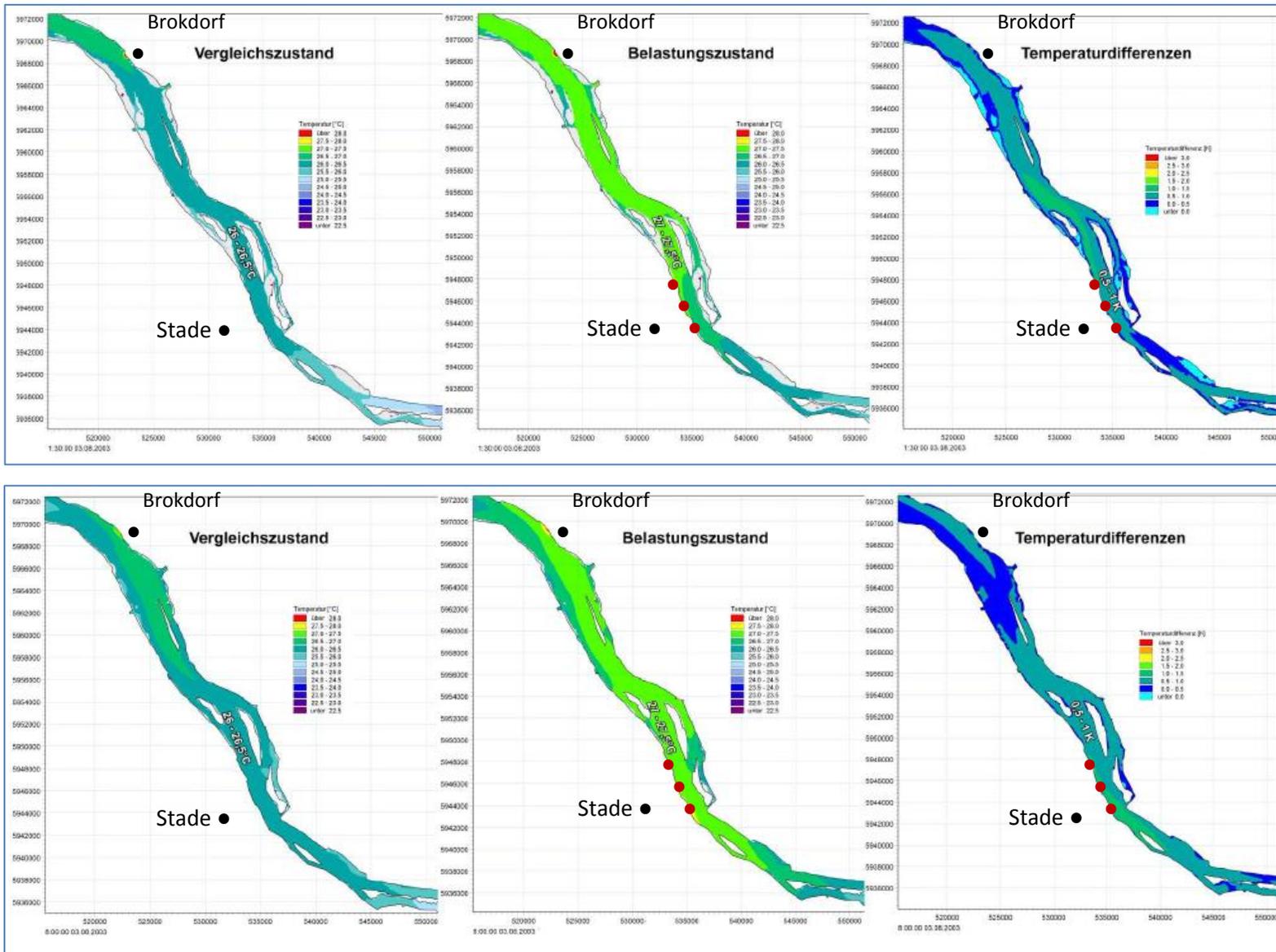


Abb. 48: Verlauf der maximalen Ebbschiff (obere Abbildung) und Flutschiff (untere Abbildung) durch die 3 simulierten Wärmeleitungen bei Stade (rote Punkte) für den Vergleichszustand (links), und den Belastungszustand (mittig) sowie deren Temperaturdifferenzen (rechts) (aus DHI/WASY 2010 Abb. 9 und 10).

Die maximale Flutfahne durch das Kernkraftwerk Brokdorf reicht vom Kraftwerk ca. 13 km flussaufwärts bis zwischen Rhinplate und Schwarztonnensand. In der Simulation des DHI (s. o.) wurde zwischen der Länge der Flut- und Ebbfahne für Stade ein Verhältnis von 1,5 festgestellt. Nimmt man dasselbe Verhältnis für die Wärmefahnen des Kraftwerks Brokdorf an, so ergibt sich für die Ebbfahne eine Länge von $1,5 \cdot 13 \text{ km} = 19,5 \text{ km}$. Die Gesamtlänge der Wärmefahne durch das KKW Brokdorf mit einer Temperaturerhöhung von 0,5 K beträgt damit insgesamt 32,5 km. Das macht in dem 69 km langen Übergangsgewässer einen Längensanteil von $32,5 / 69 \cdot 100 = 47 \%$ (siehe Abb. 49).

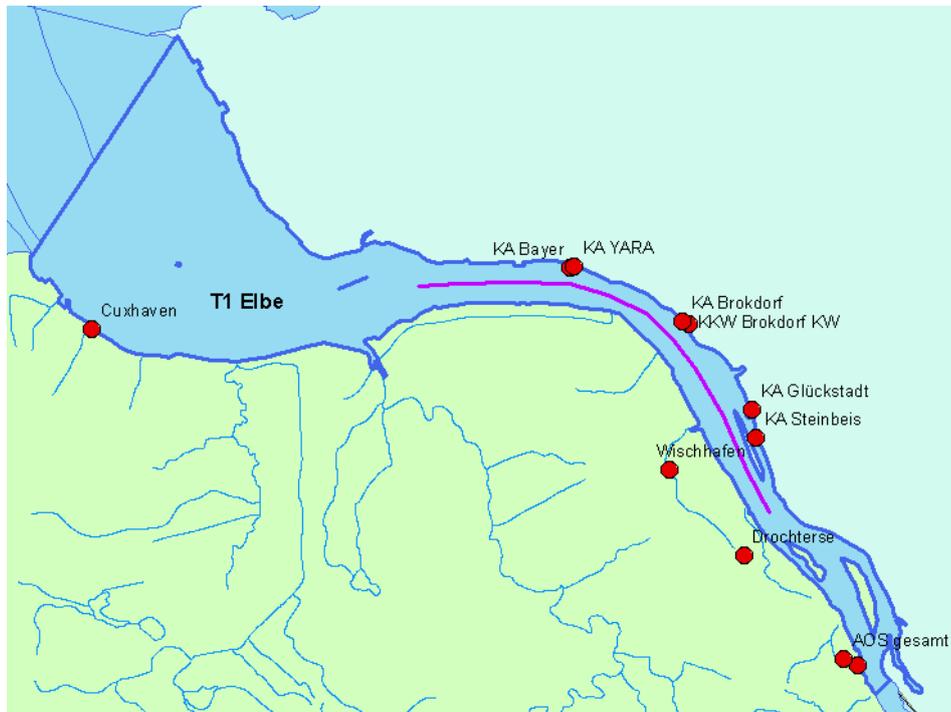


Abb. 49: Ausdehnung der Ebb- und Flutfahne entlang der Elbe mit einer Temperaturerhöhung von 0,5 K am Kraftwerk Brokdorf geschätzt nach DHI/WASY (2010).

4.3.4 Erfassung der räumlichen Variabilität mit Fernerkundungsdaten

Auch mithilfe der Fernerkundung lassen sich räumliche Strukturen in der Wärmeausbreitung erkennen.

Es sind verschiedene Arten der Darstellung für die hochaufgelösten Fernerkundungsprodukte gewählt worden. Zum einen werden die Gebiete um die großen Kraftwerke und Industrieanlagen für verschiedene, wolkenfreie Aufnahmezeitpunkte in Kartenausschnitten dargestellt. Hier ist eine einheitliche Farbskala gewählt, die immer einen Temperaturbereich von 6 K abdeckt. Dieses ermöglicht einen guten direkten Vergleich der Temperaturdifferenzen in den dargestellten Bildern. Beispiele finden sich in der Abb. 50. Alle verfügbaren Bilder für den Jadebusen, die Unterweser und die Elbe sind im Anhang dargestellt.

Als weitere Darstellungsart wurden Profile durch die Wärmefahnen gelegt, entlang derer die Temperaturen aus den Satellitendaten extrahiert wurden. Entsprechende Beispiele sind im Abschnitt „Erfassung der räumlichen Ausdehnung von Wärmefahnen in der Weser mit Fernerkundungsdaten“ (Kapitel 4.3.2) zu finden.

Schließlich wurden Bereiche verschiedener Temperaturdifferenzen ermittelt und durch Kombination verschiedener Aufnahmen die maximale Ausdehnung dieser Bereiche dargestellt. Dies ist zunächst nur exemplarisch für 2-3 Aufnahmen erfolgt, kann aber noch ausgeweitet werden. Entsprechende Ergebnisse sind in den Abschnitten über die räumliche Ausdehnung von Wärmefahnen in der Jade und der Weser dargestellt (Abb. 31 in Abschnitt 4.3.1 und Abb. 47 in Abschnitt 4.3.2).

Darstellung einzelner Aufnahmezeitpunkte

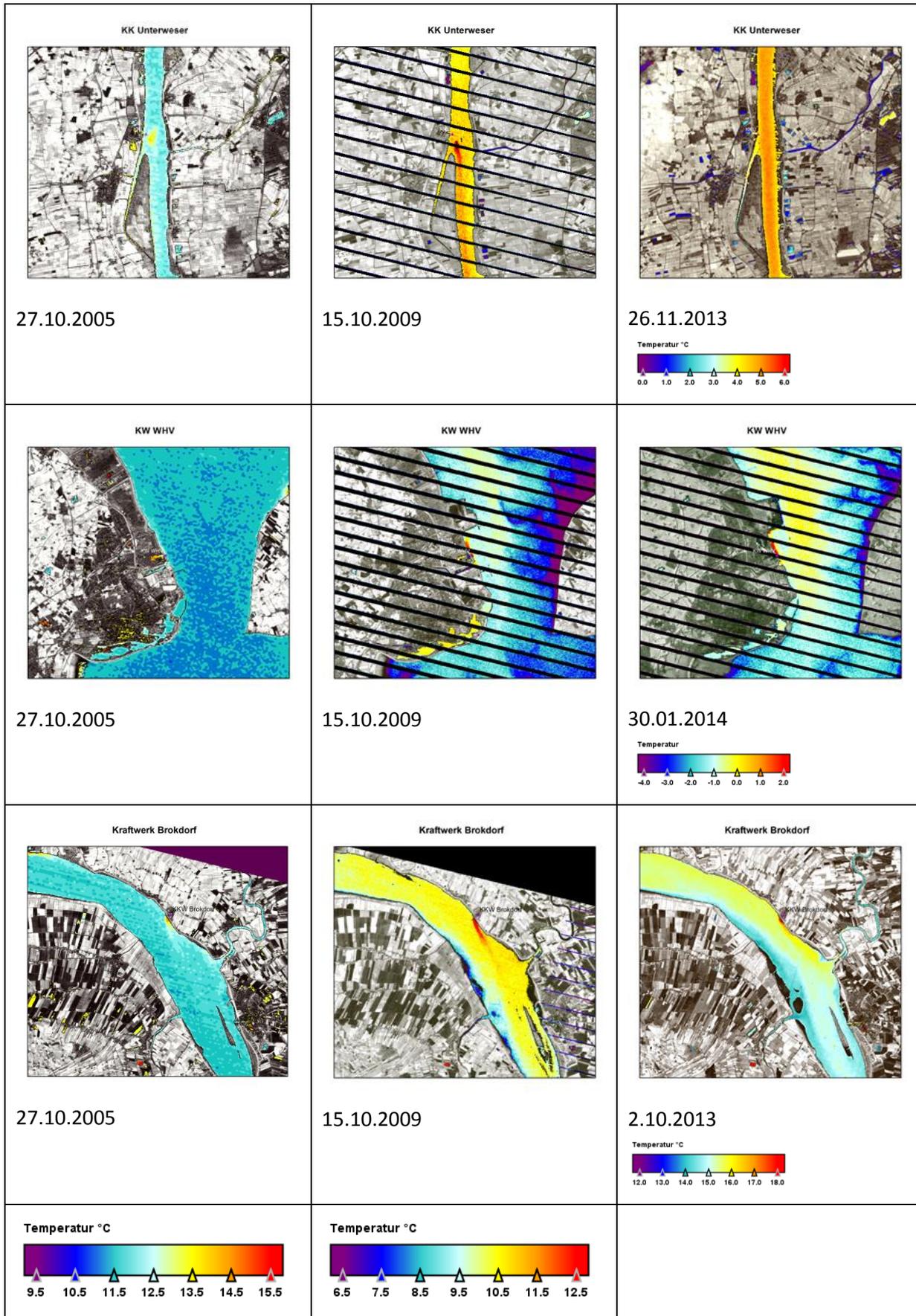


Abb. 50: Ausschnitte von Satellitenszenen zur Darstellung der Wassertemperatur an verschiedenen Aufnahmezeitpunkten.

Bei den hier gezeigten Ausschnitten handelt es sich um Beispiele, die sowohl Wärmefahnen zeigen, aber auch Beispiele, bei denen keine Erhöhung der Temperatur auffällig ist. Es wurden insgesamt 50 Landsat-Aufnahmen aus 10 verschiedenen Jahren visuell eingeschätzt. Vollständig bewölkte Aufnahmen sind nicht berücksichtigt worden. Abb. 51 zeigt, wie häufig an den großen Kraftwerken eine Wärmefahne erkannt wurde.

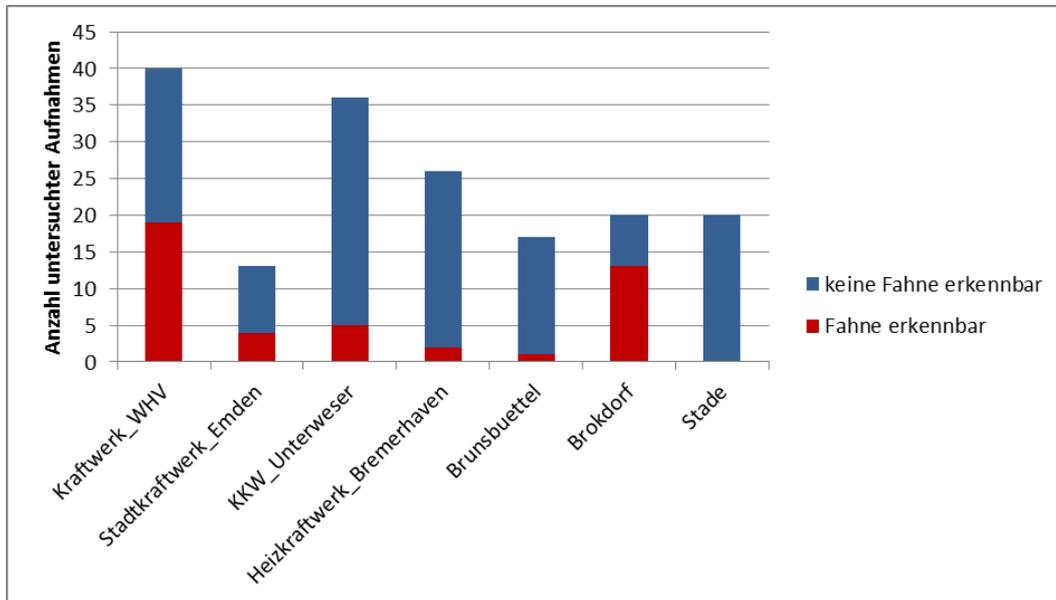


Abb. 51: Anzahl der untersuchten Landsat-Aufnahmen mit und ohne erkennbarer Wärmefahne

Eine Auswertung nach Jahreszeiten ergibt, dass in den Herbstmonaten im Verhältnis am häufigsten eine Wärmefahne erkennbar war. Hierbei ist aber zu beachten dass nur 3 Winteraufnahmen untersucht wurden und der Winter daher unterrepräsentiert ist.

5 Biologische Effekte der Wärmezufuhr

Neben den Belastungen durch Schadstoffeinträge stellen auch die durch Wärmeeinleitungen bedingten Temperaturerhöhungen einen Belastungsfaktor für Gewässer dar. In die aquatische Umwelt gelangt anthropogen erzeugte Wärme u. a. durch

- Kühlwassereinleitungen von Kraftwerken und industriellen Betrieben,
- durch Abwärme von Unterwasserkabeln für den Transport von Strom von Windparks und
- durch Abwassereinträge.

Die Wassertemperatur ist ein wichtiger Faktor, der den Gesundheitszustand eines aquatischen Ökosystems beeinflussen kann. Aquatische Organismen haben ihren spezifischen Temperaturbereich, den sie tolerieren. Die Temperatur bestimmt die Wachstumsrate, induziert die Laichtätigkeit und saisonale und tägliche Variationen bestimmen die Verteilung der Organismen im Gewässer.

Effekte der Erhöhung der Temperatur auf die marine und ästuarine Umwelt fallen in drei Kategorien:

- die absolute Temperatur, die die Organismen direkt schädigen kann,
- die Temperaturveränderung per se (die mittlere Temperatur in Relation zur normalen Umgebungstemperatur), die als ΔT ausgedrückt ist,
- die Ausbildung von thermischen Fronten, die sich im Bereich der Wärmeeinleitung tideabhängig über den Meeresboden hin und her bewegen und wandernde Tiere behindern können.

Bisher werden anthropogene Wärmeeinträge in aquatische Lebensräume im Rahmen von Monitoring- und ökologischen Bewertungsprogrammen wenig beachtet, obwohl viele Veröffentlichungen zeigen, dass Temperaturerhöhungen von nur 1 °C zu einer Beeinträchtigung in der Balance des Ökosystems führen können (TASKER ET AL. 2010). Während für die Flusssysteme Maximaltemperaturen und Aufwärmspannen durch die Wärmelastpläne definiert wurden, fehlen bisher Grenzwerte für die küstennahen Bereiche.

Dieses Kapitel beschreibt auf Grundlage einer Literaturrecherche

- die Effekte der Erhöhung der Wassertemperaturen auf einzelne, für die niedersächsischen Übergangs- und Küstengewässer typischen Arten (Kap. 5.1),
- die Auswirkungen von höheren Wassertemperaturen im Zusammenhang mit der Ansiedlung von nicht einheimischen Arten (NIS; siehe Kap. 5.2)
- die Effekte des Klimawandels, die zusätzlich zur anthropogenen Wärmeeinleitung zur Erwärmung der Gewässer führen (Kap. 5.3) und
- anhand von Fallbeispielen für die niedersächsischen Übergangs- und Küstengewässer die Auswirkungen der Temperaturerhöhungen durch die Kühlwassereinleitungen von Kraftwerken, sowie durch Unterseekabel, die den Strom von offshore Windparks zum Land transportieren (Kap. 5.4).

Am Ende des Kapitels werden auf der Grundlage der Literaturrecherche die bestehenden Grenzwerte für die Übergangsgewässer kritisch bewertet, um daraus Grenzwerte für die niedersächsischen Küstengewässer abzuleiten (Kap. 5.5).

5.1 Effekte von Temperaturerhöhungen auf Organismen

Temperaturen beeinflussen die Organismen in unterschiedlicher Weise. Langford (1990) beschreibt vier Hauptkategorien von negativen Temperatureffekten:

1. letale Effekte: Temperaturgrenzwerte, die die Organismen töten,
2. Kontrolleffekte: Subletaltemperaturen, die physiologische und biochemische Prozesse wie Wachstum, Stoffwechselraten oder Vermehrung beeinflussen,
3. direkte Effekte: die Verhaltensveränderung bedingen, z. B. Wanderverhalten oder Bewegungen
4. indirekte Effekte: Temperatur beeinflusst die Auswirkungen anderer Faktoren z. B. Wirkung von Giften oder /und Sauerstoffmangel.

Temperaturen beeinflussen die Fortpflanzung der Organismen. Die Entwicklungszeit der Eier und Larven, sowie das Wachstum sind stark temperaturabhängig. Der Temperaturbereich in dem sich die meisten eurythermen Organismen fortpflanzen können, ist meist kleiner als zu der Zeit außerhalb der Fortpflanzung (Naylor 1965 und Zitate darin), d. h. Organismen können zwar Bereiche mit erhöhter Temperatur besiedeln, aber sich u. U. dort nicht fortpflanzen. Außerdem ermöglichen es erhöhte Temperaturen Arten, die sich in gemäßigten Breiten normalerweise nicht fortpflanzen können, sich zu vermehren. Das hat große Bedeutung bei der Etablierung von eingewanderten Arten (NIS), die sich u. U. in ihrer neuen Umgebung nicht fortpflanzen könnten, jedoch in Bereichen mit lokal erhöhten Temperaturen Kühlwasserrohren ideale Bedingungen antreffen (s. u.). Das führt zu einer veränderten Artengemeinschaft im Ökosystem.

Allgemein lässt sich aussagen, dass eulitorale Arten und/oder ästuarine Arten in der Regel eine größere Temperaturtoleranz als sublitorale und/oder marine Arten haben (Naylor 1965 und Zitate darin).

Für viele Organismen liegen keine Angaben zu Temperaturtoleranzen bzw. -präferenzen vor und für die, für die es Daten gibt, muss beachtet werden, dass es Ergebnisse aus einer Vielzahl von nicht standardisierten Laborexperimenten oder Freilandbeobachtungen sind, die in der Literatur zu finden waren. Diese Temperaturangaben müssen daher als eine Größenordnung angesehen werden, und nicht als absolutes Maß. Um die in dieser Studie zusammengestellten Temperaturangaben richtig bewerten zu können, wird in diesem Unterkapitel zunächst auf die Problematik der Bestimmung der Temperaturpräferenzen bzw. der schädigenden Temperaturen eingegangen (Kap. 5.1.1) und im zweiten Teil finden sich die Temperaturangaben zu Organismen und die entsprechenden Effekte, die in der Literatur zu finden waren.

5.1.1 Vorbemerkungen zu den Bestimmungen von Temperaturtoleranzen und Letaltemperaturen von Organismen

Die Temperaturangaben zu Letalitäten und Toleranzen, die in den unten aufgeführten Tabellen zusammengestellt sind (Tab. 21 bis Tab. 30), müssen kritisch gesehen werden, denn die Angaben zu Temperaturtoleranzen schwanken in der Literatur zum Teil sehr stark. Das liegt daran, dass die Auswirkungen von Temperaturveränderungen auf die Organismen von vielen Faktoren abhängig sind, z. B.:

- der Akklimatisationstemperatur, je höher die Akklimatisationstemperatur ist, je höher ist i. d. R. die ermittelte Temperaturtoleranz (u. a. Zakhartsev et al. 2003);
- der Jahreszeit, in der die Organismen gesammelt wurden (Ansell et al. 1980a);
- der geographischen Breite des Vorkommens der Art, d. h. gleiche Arten aus unterschiedlichen geographischen Breiten können unterschiedliche Temperaturtoleranzen aufweisen (u. a. Ansell et al. 1980a);
- dem physiologischen Zustand des Organismus, je besser der Zustand ist, je höher ist die Temperaturtoleranz;

- dem Alter der Organismen; Eier, Larven und Adulte haben unterschiedliche Temperaturtoleranzen und
- abiotischen Faktoren, wie Salz- oder Sauerstoffgehalt des Wassers.

Viele Autoren bestimmen die Letalitätsgrenzwerte von Organismen, um eine Aussage bzgl. ihrer thermischen Toleranz machen zu können. Diese werden in der Regel durch Letalitätsexperimente bestimmt, in denen die Organismen über längere Zeiträume sehr hohen oder sehr niedrigen Temperaturen ausgesetzt werden und es wird notiert ab wann Organismen sterben. Die Aussagen, die sich aus den Ergebnissen dieser Experimente ableiten lassen, sind aber limitiert, da sie teilweise keine ökologisch relevanten Aussagen liefern. In derartigen thermischen Experimenten wurde beispielsweise das Limit der thermischen Toleranz für bei 12 °C akklimatisierten Aalmuttern aus der Nord- und Ostsee und Norwegischen See mit einer Temperatur von 28,8 °C (muskuläre Spasmen) bestimmt, die aber keine ökologisch relevante Temperatur darstellt, wie es (Zakhartsev et al. 2003) in anders konzipierten Untersuchungen zeigten. Die neueren Konzepte zur thermischen Adaptation und Limitierung berücksichtigen u. a. die Veränderung des Stoffwechsels in Abhängigkeit der Temperatur, so dass subletale Effekte nachgewiesen werden können (Zakhartsev et al. 2003). Gemessen wird die Veränderung der Stoffwechselaktivität über den Sauerstoffverbrauch. Die thermische Toleranz der Organismen ergibt sich aus der Sauerstoffverfügbarkeit für die Mitochondrien (Pörtner 2002). Die kritische Temperatur (T_c) gibt den Grenzwert zum anaeroben Modus des mitochondrialen Stoffwechsels an. Lange bevor die letalen Temperaturen (ULT) erreicht sind, zeigt das Tier stark verändertes Verhalten, das Zakhartsev et al. (2003) für verschiedene Temperaturen für Aalmuttern aus Nord- und Ostsee aufgelistet haben (Tab. 21). Bei baltischen Aalmuttern beginnt der aerobe Stoffwechsel bei Temperaturen > 13-15 °C schrittweise zu sinken und ist endgültig bei Temperaturen von $22,5 \pm 1$ °C beendet, so dass die Überlebenszeit limitiert ist. Im Vergleich zu der Temperatur von 28,8 °C (s. o.), wie sie in Letalitätsexperimenten ermittelt wurde, liegt dieser Wert deutlich niedriger. Die Letalitätstemperaturen stellen daher immer das obere Limit dar, was bei der Grenzwertableitung berücksichtigt werden muss und weit unterhalb dieser Temperaturen ist das Tier bereits schon gestresst.

Andere Möglichkeiten, um die Auswirkungen der Temperaturen zu bestimmen sind die Messungen der Aufnahme von Nahrung oder des Wachstums der Organismen (Freitas et al. 2007) oder auf biochemischen Level durch Bestimmung der pH-Veränderungen in verschiedenen Körpergeweben (Sommer et al. 1997).

Tab. 21: Veränderungen im Verhalten der Aalmutter (*Zoarces viviparus*) auf einen schnellen Temperaturanstieg um 1 °C/min (aus: Zakhartsev et al. 2003); Temperaturwerte sind Mittelwerte (\pm SD(n)) der Daten der Populationen aus Nord- und Ostsee.

	Temperatur °C
Verhalten des Fisches	12 (Akklimationstemperatur)
Fisch beginnt mit aufgeregtem Verhalten	18,8 \pm 2,2 (42)
Fisch stellt Brustflossen auf	20,2 \pm 2,0 (44)
Fisch beginnt aktiv herumzuschwimmen	22,1 \pm 2,0 (31)
Fisch versucht aus dem Aquarium zu springen	23,6 \pm 2,0 (17)
Fisch schwimmt falsch herum (Loss of Equilibrium, LE)	26,7 \pm 1,1 (45)
Beginn mit muskulären Spasmen (OS)	28,7 \pm 0,9 (56)

Da die Terminologie zu thermischen Effekten in der Literatur uneinheitlich ist, wird sie an dieser Stelle kurz erläutert, um die angegebenen Werte einschätzen zu können (Abb. 52 und Tab. 22).

Die Reaktionen der Organismen auf unterschiedliche Temperaturen sind abhängig von der Akklimatisations-temperatur und es lassen sich die Bereiche Letalität, Widerstand, Toleranz, und Bevorzugung unterscheiden. Wenn der Organismus selbst entscheiden kann, wird er einen Bereich aufsuchen, der für ihn am besten ist (acute thermal preferendum = AP). Dieser Bereich kann auch außerhalb des optimalen Temperaturbereichs liegen, wenn andere Vorteile in diesem Bereich geboten werden, z. B. besseres Futter oder höherer Sauerstoffgehalt (Jobling 1981). Unterschiedliche Autoren geben unterschiedliche Letalwerte (CTM, UILT oder UUILT für die Definitionen vergl. Tab. 22) an und um sie zusammenzuführen, werden sie für diese Studie zusammengefasst und als Upper Lethal Temperature (ULT) bezeichnet, wie es auch andere Autoren gemacht haben (z. B. Jobling 1981; BEEMS 2011).

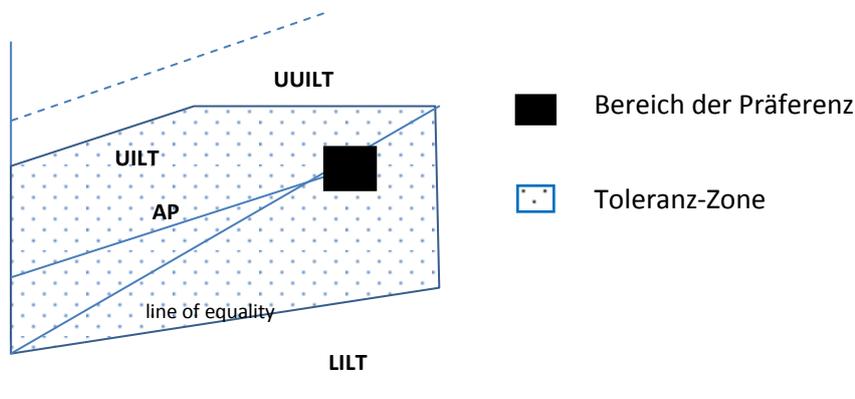


Abb. 52: Darstellung der unterschiedlichen Letalitätsgrenzen und Toleranzen; CTM= critical thermal maximum; UILT = upper incipient lethal temperature; LILT = lower incipient lethal temperature; UUILT ultimate upper incipient lethal temperature; AP=acute thermal preferendum (Jobling 1981).

Tab. 22: Erläuterung der Begriffe, vgl. Abb. 52.

Akklimatisations-temperatur	Temperatur, an die die Fische im Labor vor Versuchsbeginn gewöhnt werden (Tage) (Jobling 1981)
AP	Acute thermal peferendum: Bevorzugte Aufenthaltstemperatur der Fische
CTM, critical thermal maximum	Temperaturlimit für das Überleben der Fische, bei der die Bewegungen des Fisches orientierungslos sind und der Fisch die Möglichkeit verliert, sich selbst aus den ungünstigen Bedingungen zu bewegen. Dieser Wert wird im Labor bestimmt, wobei die Temperatur um 1 °C pro Minute erhöht wird bis der Fisch aus dem Gleichgewicht kommt; die Überlebenszeit über CTM ist in der Nähe von 0.
LT₅₀	Temperatur bei der die Population um 50% gestorben ist.
UILT und LILT	Obere und untere anfängliche Temperatur, die zum Tode führt und bei der 50% der Population überlebt.
UUILT	Ultimative obere anfängliche Temperatur, die zu Tode führt und bei der 50% der Population überlebt, die durch die Akklimatisation nicht mehr verändert wird.

5.1.2 Effekte der Erhöhung der Wassertemperaturen auf einzelne für die niedersächsischen Übergangs- und Küstengewässer typischen Arten

Da die ermittelten Temperaturtoleranzen von der Akklimatisations-temperaturen abhängig sind und da Individuen einer Art aus unterschiedlichen geographischen Breiten verschiedene Temperaturtoleranzen aufweisen können (s. o.), sollte man sich für die Grenzwertableitung auf die Angaben stützen, die auf Organismen aus unseren Breiten basieren. Im Folgenden werden daher Beispiele, die Effekte durch Erhöhung der Wassertemperatur auf Organismen zeigen, wenn möglich, aus unseren Breiten gesucht.

5.1.2.1 Effekte von Temperaturerhöhungen auf Bakterien, Pilze und andere Heterotrophe

Bakterien sind generell sehr tolerant gegenüber Temperaturen. Viele Bakterienarten profitieren von erhöhten Wassertemperaturen. Kühlwassersysteme werden als potentielle Kultursysteme für Bakterien angesehen z. B. für pathogene Keime (*Vibrio cholerae*, *Legionelle pneumophila* oder auch *Escherichia coli*) (Langford 1990). Choi et al. (2002) beschreiben zwar im Bereich der Kühlwasserfahne eines Kernkraftwerkes in Korea (5 bis 10 K erhöhte Temperaturen) eine viel geringere Bakterien- und heterotrophe Nanoflagellaten-Produktion als im unbeeinflussten Gewässer, aber sie führen diese Ergebnisse anhand von Laborexperimenten nicht auf die Temperatur, sondern eher auf das dem Kühlwasser zugesetzten Chlor zurück.

5.1.2.2 Effekte von Temperaturerhöhungen auf Makrophyten und Seegräser

Zostera marina und *Zostera noltii* werden als sehr tolerant gegenüber Temperaturerhöhungen beschrieben (Tyler-Walters und Hiscock 2005); es wird ein Toleranzbereich von 5 bis 30 °C angegeben, bis 20 °C ohne Stress. Das entspricht dem von Borum et al. (2004, zitiert in IBL 2008) angegebenen Temperaturtoleranzbereich von -1 bis 25 °C. Auch für die Ostsee werden Temperaturtoleranzwerte bis

30 °C angegeben (Meyer und Nehring 2006). Die Fähigkeit für Photosynthese geht im Bereich zwischen 35 und 40 °C verloren (Goncharova et al. 2000 zitiert in IBL 2008). In der Ostsee wurden für maximale Biomasse und Sprossdichte Wassertemperaturen bis 22,4 °C (Bobsien und Munkes 2004) bestimmt und die optimalen *Temperaturen* für Photosynthese liegen je nach Lichtintensität zwischen 25 und 35 °C (Bulhuis 1987). *Ulva intestinalis* profitiert von höheren Wassertemperaturen und die Abundanzen nehmen direkt am Kühlwassereinlauf zu (Budd und Pizzola 2008).

Einige heteromorphe Makrophyten Arten, die sich mit Generationswechsel fortpflanzen, benötigen niedrige Temperaturen, um Makrothalli auszubilden, und können sich daher im erwärmten Wasser nicht fortpflanzen.

Im Bereich von Kühlwassereinleitungen kann sich die Zonierung von Makrophyten in Abhängigkeit ihrer Temperaturtoleranz verändern, *Pelvetia canaliculata* wird durch *Fucus vesiculosus* in der oberen Strandzone, durch *Ascophyllum nodosum* im mittleren und durch *Fucus serratus* im unteren Bereich ersetzt (Bamber und Coughlan 1987 zitiert in BEEMS 2011), ähnliches fand (Straughan 1980 zitiert in BEEMS 2011) in Kalifornien, wobei dieser Abwärtstrend in der Verbreitung auf den Bereich der Einleitung innerhalb von ca. 500m begrenzt war. Vadas et al. (1976, zitiert in Langford 1990) beschreiben, dass im Bereich der Kühlwasserfahne bei Temperaturerhöhungen von 5-7 K die Populationen von *Fucus vesiculosus*, der auch in der Jade nachgewiesen wurde, und *Ascophyllum nodosum* abnehmen, obwohl die Pflanzen schneller wachsen und früher Reproduktionskörper gebildet wurden. Nachdem die Wassertemperaturen reduziert wurden, wuchsen die Populationen wieder an. Deviny (1980, zitiert in Langford 1990) wiesen nach, dass bei Temperaturerhöhungen >7K an der Westküste der USA sowie in Mexico die Phaeophyten verschwanden.

Tab. 23: Thermische Letaltemperaturen von Seegräsern

Art	Effekt/Temperatur	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	>31	Quelle	
Zostera marina	letal																												IBL 2008; Tyler-Walters 2008b
Zoster noltii	letal																												Tyler-Walters 2005

Tab. 24: Letal- und Subletal-Temperaturen einiger Makrophyten (Langford et al. 1998)

Art	Effekt/Temperatur	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	>31
Chondrus crispus	letal																										
Chorda filum	letal																										
Cladophora spp.	letal																										
Desmarestia aculeata	letal																										
Dumontia contorta	letal																										
Fucus serratus	letal																										
Fucus vesiculosus	letal																										
Laminaria digitata	letal																										
Laminaria hyperborea	letal																										
Laminaria saccharina	letal																										
Lomentaria articulata	letal																										
Sub-Letaltemperaturen																											
Ascophyllum nodosum	keine Gametenfreilassung																										
Chondrus crispus	Fortpflanzungslimit																										
Chorda filum	Unfruchtbarkeit																										
Chorda filum	Fortpflanzungslimit																										
Cladophora spp.	Fortpflanzungslimit																										
Desmarestia aculeata	Fortpflanzungslimit																										
Dumontia contorta	Fortpflanzungslimit																										
Laminaria digitata	Fortpflanzungslimit																										
Laminaria hyperborea	Fortpflanzungslimit																										
Laminaria saccharina	Fortpflanzungslimit																										
Lomentaria articulata	Einfluss auf Gemetenprod.																										
Fucus	Abnahme der Abundanz																										

5.1.2.3 Effekte von Temperaturerhöhungen auf Phyto­benthos und Phytoplankton

Sowohl im Salz- als auch im Süßwasser sind die meisten sessilen Algen eurytherm. Im Süßwasser zeigte Cairns (1956, zitiert in Naylor 1965), dass unterschiedliche Algengruppen unterschiedliche Temperaturpräferenzen haben, Diatomeen waren häufiger als die anderen Algengruppen bei Temperaturen um 20 °C anzutreffen, Grünalgen bei 32 °C und blaugrüne Algen bei 40 °C. Briand (1975) beschreibt, dass Dinophyceae höhere Temperaturen tolerieren als Diatomeen. Watermann et al. (1999) konnten in Laborexperimenten zeigen, dass benthische Diatomeen bei 10 und 15 °C gegenüber benthischen Cyanobakterien dominierten, die ihre maximalen Abundanzwerte bei 25 °C aufwiesen. Es gibt Monitoringmethoden für die Überwachung der Auswirkungen von Kühlwassereinleitungen, die auf den unterschiedlichen Temperaturpräferenzen von unterschiedlichen benthischen Diatomeen Arten basieren (Ingleton und McMinin 2012). Im Ästuar und im Meer wachsen einzellige Algen am besten in Gebieten mit lokal erhöhten Temperaturen bei gleichzeitig erhöhtem Nährstoffgehalt, die zu Algenblüten führen können. In UK gibt es Beispiele, dass sich durch Kühlwassererwärmung die Planktonproduktion erhöht hat und die Frühjahrsblüte eher erscheint, als in unbeeinflussten Gebieten (Naylor 1965 und Zitate darin). Auch Vobach & Feldt (1991, zitiert in IBL 2008) beschreiben, dass es durch erwärmtes Wasser, insbesondere bei Temperaturen von 25 bis 30 °C, lokal zu erhöhter Primärproduktion kommen kann. Andere Autoren beschreiben eine geringere Phytoplanktonbiomasse (Choi et al. 2002; Chuang et al. 2009) im Bereich der Kühlwassereinleitung, was aber zumindest teilweise am Chlor liegt, das dem Kühlwasser zugesetzt wird.

Nach Krieg et al. (2010) und der darin zitierten Literatur lassen sich keine Veränderungen in der Phytoplankton-Zusammensetzung nachweisen, solange eine absolute Temperatur von ca. 30-35 °C nicht über eine längere Zeit überschritten wird. Nach Kausch und Hinz (1984) wird die Photosyntheseleistung des Phytoplanktons bis 30 °C nicht beeinträchtigt. Für die Kieselalge *Skeletonema costatum*, die auch in der Jade nachgewiesen wurde, wurde beispielsweise eine abnehmende Photosyntheseleistung bei einer Temperatur $\geq 30^{\circ}\text{C}$ beschrieben (Hirayama und Hirano 1970, zitiert in Langford 1990).

5.1.2.4 Effekte von Temperaturerhöhungen auf das Zooplankton

Angaben zu Temperaturtoleranzen von marinem Zooplankton sind selten. Als Letaltemperaturen geben Gruffydd et al. (1975) beispielsweise für die Larven des Hummer (*Homarus gammarus*) 34 °C an und Poje et al. (1981, zitiert in Bamber und Seaby 2004) geben für ästuarine Gammariden (*Gammarus* spp.) und Mysidacea (*Neomysis americana*) 33-38 °C an. Nach Kausch und Hinz (1984) sind bei Gewässertemperaturen bis 30 °C keine Schädigungen des Zooplanktons zu erwarten. Goss und Bunting (1976) listen zahlreiche limnische Zooplankter auf, deren Letalitäten in der Regel über 30 °C liegen und auch Krieg et al. (2010) folgern auf Grundlage seiner Literaturrecherche, dass die Letaltemperaturen für das Crustaceenplankton meist über 30 °C liegen. Die subletalen Effekte sind individuell je nach Taxa unterschiedlich, so zeigen Cladoceren über 32 °C starke Ausfallerscheinungen (siehe Tab. 25, Krieg et al. 2010) und Bamber und Seaby (2004) folgern nach ihren Tests mit drei verschiedenen Planktern (*Acartia tonsa* und den Laven von *Crangon crangon* und *Homarus gammarus*), dass Arten spezifische Reaktionen auf Temperaturveränderungen zeigen, so dass man die Ergebnisse von einer Art nicht auf eine andere übertragen kann.

Tab. 25: Mortalität des Zooplanktons (in %) infolge der Temperaturerhöhung (aus Hadderingh & Janssen-Mommen 2000 zit. aus Krieg et al. 2010).

Zooplankton	30 °C	34 °C	37 °C	40 °C
Cladocera	0	50-80	95-100	100
Copepoda	0	0	50	95
Rotatoria	0	0	0-50	50-80
Wiederherstellbarkeit		5-10Tage	10-15 Tage	Keine oder > 15 Tage

5.1.2.5 Effekte von Temperaturerhöhungen auf benthische Evertibraten

Thermische Letaltemperaturen werden für Invertebraten selten bestimmt. Die Angaben zu Letaltemperaturen in der Literatur schwanken stark. Beispielsweise gibt es für *Mytilus edulis* Angaben zu Letaltemperaturen zwischen 25°C und 37°C (Tab. 26). Die Auswirkungen der Temperatureffekte sind komplex, insbesondere bei eulitoral Arten, die zeitweise der Luft ausgesetzt sind, wie z. B. Untersuchungen mit *Mytilus edulis* zeigten. Während der Zeit in der Mytilus von Wasser bedeckt ist, spiegelt die Wassertemperatur die Körpertemperatur wider, aber in der Zeit, in der sie an der Luft liegt, bestimmen viele andere Faktoren die Körpertemperatur, so dass diese meist höher als die Lufttemperatur ist (Zippay und Helmuth 2012). Jones et al. (2009) haben für *M. edulis* gezeigt, dass die Temperaturtoleranz im Sommer (Juni) und Herbst (November) unterschiedlich ist; während im Sommer die Toleranzen an der Luft und im Wasser gleich sind, sind sie im Herbst im Wasser 5 °C geringer als an der Luft. Wallis (1975) haben gefunden, dass die letale Temperatur in Abhängigkeit mit der Akklimatisation, der Körpergröße, des Lichtes und des Salzgehaltslevels variiert. Kleinere Organismen von *M. edulis* haben eine geringere Sterblichkeit als größere (LeBlanc et al. 2010). Die Temperaturtoleranzen sind für *M. edulis*, wie auch für andere Arten (s. o.) von ihrem Fundort abhängig (Tab. 26). Gonzalez und Yevitch (1976, zitiert in Langford 1990) beschreiben, dass *M. edulis* im Herbst und Winter an einem Kühlwasserkanal in Massachusetts sehr stark wächst, aber im Sommer bei Temperaturen >27°C stirbt. Freitas et al. (2007) geben als Optimaltemperatur 16°C an und ein ULT von 26°C.

Auch für *Macoma balthica* wurden in der Literatur sehr widersprüchliche Temperaturangaben gefunden. Während Budd und Will (2001) diese Art mit einer geringen Intoleranz gegenüber Temperaturerhöhungen beschreiben und dass sie 36,7°C 6h ohne Mortalität überlebt, kommen Freitas et al. (2007) zu einer völlig anderen Einschätzung. Aus Experimenten, die auf der Bestimmung der Nahrungsaufnahme bzw. Wachstumsraten basierten, bestimmten sie ein Temperaturoptimum um 10°C und ein ULT von 17°C. Auch Beobachtungen aus dem Wattenmeer belegen, dass *M. balthica* kältere Temperaturen braucht und es schon Indizien gibt, dass sich die Art aufgrund der Klimaerwärmung weiter nach Norden zurückzieht (Beukema et al. 2009).

Tab. 27 listet die Letaltemperaturen für einige benthische Arten auf. Sie liegen in der Regel um 30 bis 33 °C (Bamber 1990).



Tab. 26: Thermische Letaltemperaturen von *Mytilus edulis* aus verschiedenen geographischen Breiten. WT = Wassertemperatur; LT₅₀ = Temperatur bei der 50 % der Individuen sterben.

Art		°C	Effekt	Abhängig von	Quelle
<i>Mytilus edulis</i>	Wattenmeer	27,4 Sommer WT; 28,3 Winter WT			Compton et al. 2007
<i>Mytilus edulis</i>	Ostküste USA	25-37, WT	LT ₅₀	Jahreszeit und Anzahl des Trockenfallens	Jones et al. 2009
<i>Mytilus edulis</i>		28 WT	Upper Tolerance level (UTL)		Read und Cumming 1967
<i>Mytilus edulis</i>		27WT	LT ₅₀ nach 3 Tagen		Read und Cumming 1967
<i>Mytilus edulis</i>	Ostküste Kanada, Prince Edward Island	> 27 WT	ULT		LeBlanc et al. 2010
<i>Mytilus edulis</i>	Ostküste Kanada, Prince Edward Island	> 30 WT	Mortalität steigt drastisch an innerhalb von wenigen Stunden		LeBlanc et al. 2010
<i>Mytilus edulis</i>		28,9 WT	Letal innerhalb von 14 Stunden		Ritchie 1927
<i>Mytilus edulis</i>	Australien	28,2 WT	ULT	Wenn akklimatisiert bei 20 °C	Wallis 1975
<i>Mytilus edulis Juvenil</i>	Ostküste Kanada, Prince Edward Island	33 WT 27 WT	6 Stunden: 75% Mortalität. 11Stunden: 50% Mortalität		LeBlanc et al. 2005
<i>Mytilus edulis</i>		> 40 Lufttemperatur!	Massensterben (> 50%) der Population		Tsuchiya 1983

Die Effekte von Temperaturerhöhungen auf benthische Evertebraten sind abhängig von der geographischen Breite und der Akklimatisationstemperatur in der ein Individuum lebt:

Beispielsweise beschrieben Ansell et al. (1980a und 1980b) und Compton et al. (2007) für zwei Bivalvienarten (*Tellina fabula* und *T. tenuis*), dass die Individuen aus wärmeren

Regionen (Mittelmeer) höhere Temperaturtoleranzen aufwiesen als die Individuen dieser Arten aus kälteren Regionen (Nordsee) und dass die Temperaturtoleranzen in beiden Regionen im Winter in der Regel niedriger als im Sommer waren. Compton et al. (2007) bestätigten mit ihren Untersuchungen, dass Bivalvii aus tropischen Breiten höhere Temperaturen vertragen können als Arten aus dem Wattenmeer. Außerdem fanden sie, dass die Tiere aus dem Wattenmeer besser an schwankende Temperaturen angepasst sind, als Tiere aus den Tropen.

Arten, die sich im Winter und Sommer vermehren können saisonal deutlich unterschiedliche ULT Werte haben. Ein Beispiel ist *Neomysis integer*, deren Wintergeneration ein ULT von 10°C-12°C während die Sommergeneration ein ULT von 20°C-25°C aufweist.

Die Effekte von Temperaturerhöhungen auf benthische Evertibraten sind abhängig von dem Lebensraum, den der Organismus bewohnt:

Sublitorale Arten haben in der Regel eine niedrigere Temperaturtoleranz, als Organismen, die im Eulitoral leben. Im Eulitoral sind die benthischen Arten natürlicherweise sehr großen Temperaturschwankungen ausgesetzt und sind daher daran angepasst; Spencer (1970, zitiert in BEEMS 2011) bestimmten beispielsweise im Sommer bei Ebbe in sandigen Sedimenten in UK einen Temperaturanstieg von $0,2 \text{ }^{\circ}\text{C min}^{-1}$ und eine tägliche Temperaturspanne von 15 °C bis 26 °C. Innerhalb eines Jahres müssen die Tiere Temperaturschwankungen von -4,5 °C bis 32,5 °C aushalten können (Walters 1977, zitiert in BEEMS 2011).

Ästuarine Arten sind im Allgemeinen toleranter gegenüber schwankenden abiotischen Bedingungen, insbesondere gegenüber thermischem Stress, als vollständig marine Arten (Elliott und Whitfield 2011). Naylor (1965) hat nachgewiesen, dass beispielsweise der Brackwasserisopode *Idotea chelipes* höhere Temperaturen aushalten kann, als sein mariner Verwandter *Idotea emarginata*.

Die unterschiedlichen Temperaturtoleranzen der einzelnen Arten führen unter Einfluss von Erwärmung zu Veränderungen in der ursprünglichen Zonierung und Zusammensetzung der Artengemeinschaften:

Eulitorale Arten wandern ins Sublitoral und ersetzen dort die sublitoralen Arten, wenn die Temperaturen im Eulitoral zu hoch werden, wie Bamber und Spencer (1984) in einem Kühlwassereinleitungskanal in UK nachgewiesen haben. Sie beschreiben außerdem dass innerhalb des Kühlwasserkanals eine opportunistische Artengemeinschaft, mit deutlich weniger Arten (die Hälfte), als an Vergleichsstationen (s. o.) auftrat. Typische Arten waren *Tubificoides* und *Cauleriella*. Sie konnten außerdem zeigen, dass ein Austausch von Arten durch thermischen Stress stattgefunden hatte, indem an den wärmeren Stationen direkt am Kraftwerk die Art *Tubificoides amplivasatus* häufig war, und an den Vergleichsstationen *T. benedeni*, so dass die Funktion, die die Oligochaeta im Ökosystem haben zwar erhalten bleibt, aber mit anderen Arten. Der thermische Stress durch die Warmfront (um 12°C erwärmtes Wasser), die in Abhängigkeit der Tidephase mehrfach am Tag innerhalb von 15-30 Minuten über den Gewässerboden des 4 km langen Kanals hin- und her pendelt, hatte zu dieser Artenverschiebung geführt wie Bamber und Spencer (1984) folgern.

Eine weitere Auswirkung der Temperaturerhöhung kann eine Änderung in der Artzusammensetzung sein. In gemäßigten Breiten leben Kalt- und Warmwasserarten zusammen. Die Kaltwasserarten pflanzen sich im Winter, die Warmwasserarten im Sommer fort, so dass erhöhte Temperaturen dazu führen können, dass einige Kaltwasserarten sich nicht mehr, und Warmwasserarten sehr erfolgreich vermehren können. Ein Beispiel ist *Semibalanus balanoides*, der sich im Winter fortpflanzt, aber nur wenn die Temperaturen unter 10 °C sind (Crisp 1957, zitiert in Naylor 1965), während der mit ihm konkurrierende *Chthamalus stellatus* von höheren Temperaturen profitiert. Für einige andere Kaltwasserarten konnte in Laborexperimenten gezeigt werden, dass sie bei erhöhter Temperatur und genügend Futter ihre Fortpflanzungszeit ausdehnen (Naylor 1965 und Zitate darin). Ein anderes Beispiel ist die Kaltwasserart *Balanus crenatus*, der durch die subtropische Art *Balanus amphitrite* in einem vom Kühlwasser beeinflussten Gebiet dessen Wassertemperatur um 10°C erhöht war, ersetzt wurde. Als das Kraftwerk abgeschaltet wurde, siedelte sich *Balanus crenatus* wieder an und *Balanus amphitrite* verschwand wieder (White 2004, Naylor 1965). Für *Conopeum reticulum* wurde ein ULT zwischen 30°C und 32°C bestimmt, jedoch nahm die Zooid Größe ab, so dass die Reproduktion reduziert ist.

Einige Arten können zwar im wärmeren Wasser leben, sich aber dort nicht fortpflanzen, wie z. B. *Gammarus dubeni* und *Carcinus maenas*. Um den Bestand zu erhalten müssen sie immer wieder von außen einwandern (Naylor 1965).

Das Wachstum ist stark von den Temperaturen abhängig. Wärmeliebende Arten können von den höheren Temperaturen profitieren. Z. B. bildet der Polychaet *Sabellaria alveolata* im Bereich des erwärmten Kühlwassers signifikant größere Kolonien, als im Bereich außerhalb der Erwärmung (Bamber und Irving 1997). Das Wachstum von *Littorina littorea* ist bei Temperaturen >20°C reduziert und auch für *Obelia longissima* wurde beschrieben, dass sich ihre Hydranthen erst entwickeln wenn die Wassertemperatur unter 20°C ist.

Von großer Bedeutung sind synergistische Effekte von Temperaturen und anderen Faktoren. Bei höheren Temperaturen sind die Organismen weniger tolerant gegenüber Giften und die Osmoregulation ist höher (Naylor 1965). Nach Neal (2008) nimmt beispielweise bei *Crangon crangon* bei Temperaturen >20°C die Empfindlichkeit gegenüber synthetischen Chemikalien (Drewa 1988), Sauerstoffmangel (Hagerman & Szanlawka 1986), organischer Anreicherung (Costello et al. 1993) und Kohlenwasserstoffen (Palgan et al. 1988) zu.

Temperaturerhöhungen haben auch indirekte Effekte. Durch höhere Temperaturen kommt es zu einer höheren Sauerstoffzehrung durch höhere Bakterienaktivität. Ein Beispiel dafür ist *Bathyporeia pelagica*, der im Interstitialwasser lebt und wo es infolge erhöhten Bakterienwachstums bei höheren Temperaturen insbesondere bei einem hohen organischen Eintrag zu Sauerstoffmangel kommen kann. Da sich im wärmeren Wasser weniger Sauerstoff löst, als in kälterem wirkt die Temperaturerhöhung doppelt. Höhere Temperaturen können auch das Wachstum von Parasiten fördern, beispielweise führte der Trematodenbefall von *Hydrobia ulvae* zu einem Massensterben.

Tab. 28: Effekte verschiedener benthischer Arten auf Temperaturerhöhungen

Art	°C	Effekt	Quelle
<i>Arenicola marina</i>		Späteres Laichen in der Nähe des Hunterston Kraftwerk in Schottland	Pearson und Barnett 1987
		Temperaturanstieg kann Laichzeit, Synchronisation und Fruchtbarkeit beeinflussen	Tyler-Walters 2008a
	>15	Kann Reproduktion eingeschränkt sein	Tyler-Walters 2008a
	20	ULT Adulte Tiere	Tyler-Walters 2008a
	>25	Juvenile, Sterblichkeit 90%	Tyler-Walters 2008a
<i>Arctica islandica</i>	≤16	Benötigt Wassertemperaturen unter 16°C	Sabatini et a. 2008
<i>Asterias rubens</i>	16-18	Abnahme der Fressaktivität	Budd 2008 und Zitate darin
<i>Balanus crenatus</i>	≥25	Cirrialeaktivität erlischt	White 2004
<i>Carcinus maenas</i>	14-28	Die Kaltwasserart C. m. ist sehr häufig im warmen Wasser, aber scheint sich nicht fortzupflanzen, wenn die Temperatur > 18°C ist	Naylor 1965
<i>Corophium volutator</i>	≥ 25	Wird hyperaktiv und verlässt seine Röhren um in tieferes Wasser zu schwimmen	Gonzalez & Yevitch 1971, zitiert in BEEMS 2011
<i>Fabulina fabula</i>	27	ULT	Rayment 2008
	>16	Wachstum hört auf	

Art	°C	Effekt	Quelle
<i>Semibalanus balanoides</i>	≥31	Arctic-boreale Art, die für Fruchtbarkeit eine Periode von <10 °C braucht Cirriale Bewegungen verschwinden	Crisp 1957 und 1964, zitiert in Naylor 1965
<i>Tellina tenuis</i>		Längere Laichzeit in der Nähe des Hunterston Kraftwerk in Schottland	Pearson und Barnett 1987
<i>Urothoe brevicornis</i>		Früheres Laichen und längere Wachstumszeit in der Nähe des Hunterston Kraftwerk in Schottland	Barnett 1971

5.1.2.6 Effekte von Temperaturerhöhungen auf Fische und Rundmäuler

Temperaturen um 40-41 °C können als limitierende CTM für alle Fische der gemäßigten Breiten angesehen werden, Proteine beginnen zu denaturieren und Enzymsysteme funktionieren nicht mehr (Somero und Hofmann 1997) , doch diese Aussage hat bzgl. der Grenzwerte keine Relevanz. Wie alle anderen Organismen haben Fischarten einen Temperaturbereich, den sie präferieren und in dem ihre physiologischen Prozesse optimal verlaufen. Diese Temperaturbereiche sind von Art zu Art verschieden, und innerhalb einer Art ist der Temperaturtoleranzbereich von der Lebensphase abhängig. Allgemein gelten die frühen Entwicklungsstadien (Embryonal- und Larvalphasen) als temperatursensibler im Vergleich zu den adulten Tieren (Tab. 29 und Tab. 30). Man kann zwischen kalt- (z. B. Lachs, Meerforelle, Quappe, Hering und Stint) und warmstenothermen Arten (z. B. Flunder, Dreistachliger Stichling, Fluss- und Meerneunauge) sowie eurythermen Arten unterscheiden, je nachdem wie groß der Temperaturtoleranzbereich der jeweiligen Arten ist. Die kaltstenothermen Arten haben ihre Optima meist um 13 bis 16 °C und Temperaturen über 20 °C liegen bereits im eingeschränkten Bereich und über 21 bis 23 °C können z. B. für den Hering und Nordseeschnäpel letal wirken (Otto und Zahn 2008).

Die Durchgängigkeit der Gewässer ist für Fische wie z. B. den Lachs besonders wichtig. Der Lachs hat vier Wanderzüge im Jahr (Fritsch 1894 zitiert in Otto und Zahn 2008), flussaufwärts wandert der adulte Lachs im Februar bis April, im Mai bis Juni, und im August bzw. Oktober und flussabwärts wandern die juvenilen Lachse insbesondere im April/Mai. Daher ist es notwendig, dass die Durchgängigkeit des Flusses das ganze Jahr gegeben ist.

Da die Bestimmungen der Letal- oder Optimumtemperaturen in nicht standardisierten Laborexperimenten bestimmt werden, und die Toleranzen von der Akklimatisationstemperatur abhängig sind, schwanken die ermittelten Temperaturangaben (s. o.).

Neben direkten Temperaturwirkungen auf die Organismen kommt es auch zu synergistische Effekten. Die Bioakkumulation kann sich durch höhere Temperaturen erhöhen, wie in einer schwedischen Studie gezeigt wurde (Edgren et al. 1981, zitiert in Langford 1990). Im Kühlwassereinflussbereich eines schwedischen Kernkraftwerks war der Gehalt an DDT und PCB im Flussbarsch (*Perca fluviatilis*) signifikant höher, als bei Tieren aus kälterem Wasser, allerdings wies die Plötze (*Rutilus rutilus*) keine Unterschiede auf. Es wird wieder einmal deutlich, dass sich Effekte nicht von einer Art auf eine andere übertragen lassen.

5.2 Einfluss von Erwärmung auf die Einwanderung von fremden Arten (NIS)

Fremde Arten, die sich in ihrer neuen Umwelt erfolgreich etabliert haben, sind meist Arten, die eine große Temperatur- und Salinitätsspanne tolerieren. Für Arten, die aus wärmeren Regionen eingewandert sind, stellt u. U. der kalte Winter der gemäßigten Breiten ein Problem dar, da Embryonen oder Larven häufig sehr viel geringere Temperatur- und Salzgehaltsspannen aushalten können als die adulten Tiere. Für diese Arten ist es schwer, sich zu etablieren, da sie sich wegen der niedrigen Wassertemperaturen im Winter nicht vermehren können. Lokal aufgewärmte Gebiete, im Bereich von Kühlwasserrückläufen bieten daher für diese Arten die Möglichkeit, sich zu vermehren.

Beispiele dafür sind die Muscheln *Mytilopsis leucophaeata* oder *Rangia cuneata*. Die erstgenannte Art wurde auch in der Jade nachgewiesen (IBL 2008) (Tab. 31) und Laine et al. (2006) beschreiben Funde älterer Individuen von *M. leucophaeata* in der nördlichen Ostsee, in Regionen, die von Kühlwasser erwärmt wurden. Auch Florin et al. (2013) beschreiben, dass 2011 erstmals sowohl adulte als auch juvenile *M. leucophaeata* im von Kühlwasser beeinflussten Bereich eines schwedischen Kernkraftwerkes in der Bothnischen See (Ostsee) gefunden wurden und sie zeigen, dass sich das erwärmte Wasser sehr günstig auf Wachstum, Überleben und Fortpflanzung dieser Art auswirkt. Diese Muschel kann basierend auf ihrer ursprünglichen Herkunft als Warmwasserart eingestuft werden, die jedoch auch in gemäßigten Breiten leben kann. Ihr Temperaturbereich wird zwischen 6,6 °C und 37 °C angegeben (Therriault 2011). *R. cuneata* ist eine kleine Muschel, die im Hafen von Antwerpen erstmals in 2005 in Kühlwasserrohren entdeckt wurde und deren Embryos Temperaturen zwischen 18-29 °C für eine optimale Entwicklung benötigen (Verween et al. 2006).

Hoagland und Turner (1980) beschreiben, dass sich der eingewanderte Schiffsbohrwurm *Teredo bartschi* und der eingewanderte Polychaet *Ficopomatus enigmaticus* im Einflussbereich des erwärmten Kühlwassers fortpflanzen und hier Populationen gebildet haben.

Aston (1968, zitiert in Langford 1990) beschreibt, dass der exotische Oligochaet *Branchiura sowerbyi* im erwärmten Bereich von Kraftwerken schneller wächst und mehr Gonaden und Kokons produziert. Auch die aus Asien eingewanderte Körbchenmuschel *Corbicula fluminea* profitiert von erwärmtem Kühlwasser, wo sie bei besonders kalten Wintern gut überleben kann, während sie in nicht erwärmten Wasser abstirbt (Cherry et al. 1980, zitiert in Langford 1990). Diese beiden letztgenannten NIS wurden in der Elbe nachgewiesen.

Auch Wither et al. (2012) beschreiben, dass höhere Temperaturen die Kolonisation von eingewanderten Arten fördern können. Es wurden in UK eingewanderte Arten nachgewiesen, z. B. *Balanus amphitrite*, die in Zusammenhang mit Kühlwasserabgaben heimische Arten verdrängt haben (*Balanus crenatus*, der sich bei Temperaturen > 20 °C nicht mehr vermehrt (Naylor 1965)) und es gibt Hinweise, dass eingewanderte Arten nachdem das Kraftwerk abgeschaltet wurde, wieder verschwunden sind (Bamber 1990). Witte et al. (2010) beschreiben, dass die Seepocke *Austrominius modestus* als Folge der Temperaturerhöhung durch Klimaerwärmung die borealen heimischen Seepocken *Semibalanus balanoides* und *Balanus crenatus* abundanzmäßig überholt hat. Auch andere NIS profitieren von höheren Temperaturen, z. B. dehnt *Spartina anglica*, ihre Ausbreitung aus, von *Crassostrea gigas* wurde angenommen, dass sie sich in der Nordsee nicht vermehren kann und bildet nun große Riffe und die *Crepidula fomicata* Populationen sind so häufig wie nie zuvor.

Die Wintertemperaturen waren bis 2011 nach dem strengen Winter 1995/1996 niemals unter 0,5 °C und die Sommertemperaturen stiegen seit 1955 um 0,03 °C pro Jahr (das entspricht einem Temperaturanstieg von 1,65 °C in diesem Zeitraum) (Witte et al. 2010). Das heißt, dass es schon durch eine dauerhafte Temperaturerhöhung von <2K zu einer deutlichen Veränderung in der Artzusammensetzung kommen kann.

Der wesentliche Punkt ist, dass es sich um eine dauerhafte Temperaturerhöhung handelt. In Tidegewässern jedoch schwingt die Kühlwasserfahne hin und her, so dass es immer wieder zu natürlichen Wassertemperaturen kommt. Die Ausnahme bildet der Bereich der je nach Geometrie der Konstruktion und der Einleitungsstelle die Mischungszone und insbesondere der Bereich direkt um die Kühlwassereinleitung, an denen dauerhaft höhere Temperaturen vorkommen.

Tab. 31: NIS und kryptische Arten, die in 2009 und 2010 mit dem Rapid Assessment in Brunsbüttel und Wilhelmshaven entdeckt wurden (modifiziert nach: Buschbaum et al. 2012, Tab.2 und Tab.3), fehlend (-), vorhanden (+) in 2009/ 2010; est = established.

Art/Ort		Brunsbüttel/ Elbe	Wilhelmshaven/ Jade	Status	Entdeckungs- Jahr	Herkunft
Flora:						
<i>Polysiphonia harveyi</i>	Rhodophyceae		-/+	est	1960s	West-Pazifik
Fauna:						
<i>Cordylophora caspia</i>	Cnidaria	-/+		est	1858	Ponto-Caspian
<i>Crepidula fornicata</i>	Mollusca		+/+	est	1934	NW Atl.
<i>Crassostrea gigas</i>	Mollusca		+/+	est	1984	West-Pazifik
<i>Mya arenaria</i>	Mollusca		-/+	est	<1700	NW Atl.
<i>Mytilopsis leucophaeta</i>	Mollusca	-/+		est	1928	NW Atl.
<i>Petricola pholadiformis</i>	Mollusca		-/+	est	1896	NW Atl.
<i>Austrominius modestus</i>	Crustacea		+/+	est	1953	Süd Pazifik
<i>Balanus improvisus</i>	Crustacea	+/+	-/+	kryptisch./est	1858	?
<i>Sinelobus stanfordi</i>	Crustacea	+/+		Neuer Fund	2009	?
<i>Gammarus tigrinus</i>	Crustacea	+/+		est	1957	NW Atl.
<i>Eriocheir sinensis</i>	Crustacea	+/+		est	1912	NW-Pazifik
<i>Hemigrapsus takanoi</i>	Crustacea		+/+	est	2007	NW-Pazifik
<i>Hemigrapsus sanguineus</i>	Crustacea		+/-	est	2006	NW-Pazifik
<i>Palaemon macrodactylus</i>	Crustacea		-/+	est	2004	NW-Pazifik
<i>Telmatogeton japonicus</i>	Insecta	+/+		est	1962	NW-Pazifik

Art/Ort	Brunsbüttel/ Elbe	Wilhelmshaven/ Jade	Status	Entdeckungs- Jahr	Herkunft
<i>Bugula stolonifera</i>	Bryozoa	-/+	kryptisch./ est	1999 Belgien,	NW Atl.
<i>Tricellaria inopinata</i>	Bryozoa	+/-	Neuer Fund	2009	N Pazifik
<i>Aplidium c. f. glabrum</i>	Tunicata	+/-	kryptisch /est		?
<i>Botryllus schlosseri</i>	Tunicata	-/+	kryptisch./ est		NW Pazifik/ Mittelmeer?
<i>Molgula manhattensis</i>	Tunicata	-/+	kryptisch/ est		?
<i>Styela clava</i>	Tunicata	+/+	est	1997	NW-Pazifik

Die Arten werden häufig mit dem Ballastwasser der Schiffe oder dem Bewuchs auf den Schiffsrümpfen transportiert. Häfen sind daher besondere Hotspots für NIS (Tab. 31) und daher stellen Kraftwerke, die im Bereich von Häfen liegen, eine besondere Gefahr dar, da sie günstige Bedingungen für NIS aus wärmeren Regionen schaffen (Naylor 1965). Das Kraftwerk E.ON in der Jade liegt neben dem Jade-Weser-Port und auch das Kraftwerk Brokdorf liegt in unmittelbarer Nachbarschaft von einem Hafen.

5.3 Beispiele für Auswirkungen der Temperaturerhöhung durch Klimaerwärmung

Es ist nicht anzunehmen, dass synergistische Effekte von Temperaturerhöhungen durch Kühlwassereinleitung und der Klimaerwärmung auftreten, da die meisten marinen Arten kurze Generationszeiten (jährlich oder mehrmals im Jahr) haben, so dass evolutionäre Anpassungen auf langsame Veränderungen im Ökosystem (z. B. Klimaerwärmung) stattfinden können (BEEMS 2011). Ausnahme ist der Fall, wenn die Kombination aus der Erwärmung durch die Kühlwassereinleitung und durch die Klimaveränderung die Temperaturen auf das ULT Niveau ansteigen lassen (BEEMS 2011).

Im Rahmen der Diskussion über die Auswirkung von Temperaturerhöhungen durch anthropogene Wärmeeinträge auf die Organismen können Erkenntnisse aus den Forschungen für Klimaerwärmung herangezogen werden. Beukema und Dekker (2011) beschreiben eine Zunahme an benthischen Arten im niederländischen Wattenmeer innerhalb der letzten 40 Jahre. Insbesondere die Arten, die eigentlich durch kalte Winter geschädigt werden würden, haben zugenommen, da sich innerhalb der Periode von 1970 bis 2009 die Wintertemperatur um 2 °C erhöht und die Anzahl an strengen Wintern abgenommen hat. Die Abnahme von *Macoma balthica* in diesem Gebiet ist ein Beispiel einer Art, die durch erhöhte Temperaturen negativ beeinflusst wird. Die Wassertemperaturen haben sich in den letzten zwei Dekaden in niederländischen Watt um 1 °C erhöht und die Abundanzen von *Macoma balthica* nehmen deutlich ab. Als Begründungen geben Beukema et al. (2009) schlechteren Bruterfolg und schlechteres Wachstum in wärmeren Jahren an. Dieses Beispiel zeigt, wie wenig aussagekräftig die ULT Werte sind, um etwas über Temperaturtoleranzen der Arten aussagen zu können. Für *Macoma balthica* wurde ein ULT Werte von 30,2 °C ermittelt (Compton et al. 2007) und Budd und Will (2001) bescheinigen *M. balthica* eine geringe Sensitivität gegenüber Temperaturerhöhungen. Freitas et al. (2007) geben für *M. balthica* eine optimale Temperatur von 10 °C und einen Toleranzbereich bis 17 °C an und folgern, dass diese Kaltwasserart von Temperaturerhöhungen negativ beeinflusst wird.

Das zeigt, dass dauerhafte Temperaturerhöhungen, auch wenn sie gering sind (um 1°C) zu veränderten Artenzusammensetzungen in den betroffenen Habitaten führen. Langfristig erhöhte Wassertemperaturen treten im Nahbereich um die Kühlwassereinleitung auf, so dass in diesen Bereichen mit veränderten Lebensgemeinschaften zu rechnen ist, z. B. durch Etablierung von wärmeliebenden NIS (siehe Kap. 5.2).

5.4 Fallbeispiele

5.4.1 Wärmeeintrag durch die Kühlwassereinleitung von Kraftwerken

In der Literatur sind sowohl Fälle beschrieben in denen die Kühlwassereinleitung keine bzw. sehr geringe (Riera et al. 2011), als auch welche, die messbare Auswirkungen auf das Ökosystem hat (Bamber und Spencer 1984; Bamber 1990). Die Einleitung von erwärmtem Kühlwasser führt im Umfeld der Einleitstelle zu Erwärmung des Gewässers. Das Ausmaß der Erwärmung ist von den Standortbedingungen und von der Art und der Leistung des jeweiligen Kraftwerks abhängig. Die Auswirkungen der Kühlwasserfahne sind im reinen Süßwasser größer, als im tidebeeinflussten Ästuar oder im Meer, da in Tidegewässern das Kühlwasser mit kühlerem Meerwasser verdünnt wird. Der Einfluss der Kühlwasserfahne reicht in Tidebeeinflussten Gewässern der Regel nicht mehr als 1 km (Langford 1990), obwohl für die Weser deutlich größere Auswirkungen (30 km für > 0,5 K, 23 km für > 1 K und 7 km für > 2 K) im Rahmen der Auswertungen der Weserlängsprofile analysiert wurden (siehe Kap. 4.3.2).

Bamber und Henderson (1981, zitiert in Langford 1990) beschreiben, dass in den wärmsten Bereichen in der Kühlwasserfahne die gefundenen Arten deutlich geringere Abundanzen aufwiesen, als an den Kontrollstationen. Ausnahmen waren die exotische Krabbe *Pilumnus hirtellus* und *Buccinum undatum* deren Bestände sich an beiden Standorten nicht unterschieden. Auch Kailasam und Sivakami (2004) beschreiben signifikant niedrigere benthische Artenzahlen, Abundanzen und Biomasse an zwei Stationen, die 100m bis 300m von der Einleitungsstelle entfernt lagen und ein ΔT von 8K bzw. 4K aufwiesen. Auch im Hooghly Ästuar (Golf von Bengalen, Indien) erhöht die Wärmefahne einen Bereich von 400-500m flussabwärts während der Ebbphase und bis 100m flussaufwärts während der Flutphase (Mukhopadhyay 1987, zitiert in Kailasam und Sivakami 2004).

Grundsätzlich ist es problematisch Veränderungen in der Besiedlung allein der erhöhten Temperatur zuzuschreiben, da sich zum Teil auch die Sedimentverhältnisse im Einflussbereich der Kühlwasserfahne verändern können (Riera et al. 2011) oder dem Kühlwasser Chemikalien (z. B. Chlor) zugesetzt wurden, die die Organismen schädigen (Choi et al. 2002). Einige Untersuchungen zeigten, dass nicht die Maximaltemperaturen, die in der Regel nicht höher als 30 °C waren, zu den Veränderungen führten, sondern die durch die Tide fluktuierende Temperaturen bis 10 °C (thermische Front) die Gemeinschaften stressten (Bamber 1985, zitiert in Langford 1990). Die typische Stressgemeinschaft bestand hauptsächlich aus den Oligochaeten *Tubificoides benedeni* und *T. amplivasatus* und den Polychaeten *Caulierella zetlandica*, *Nereis diversicolor* und *Heteromastus filiformis*. Die Mollusken, mit Ausnahme von *Macoma balthica*, fehlten ebenfalls in diesem Bereich. *Semibalanus balanoides* nimmt in der Nähe von Kühlwassereinleitung ab (Bamber 1990).

Die Wechselbeziehungen zwischen der Evolutionsgeschichte, der Akklimatisation der Arten und der drei Hauptstressoren (mittlere, absolute und Fluktuation der Temperatur) bestimmen das Ausmaß der Beeinträchtigungen der Arten im Einflussbereich der Kühlwassereinleitung. Signifikante Auswirkungen sind begrenzt innerhalb eines Bereiches zwischen 200-500 m von der Einleitung und außerhalb dieses Bereiches sind nur noch geringe Auswirkungen erkennbar (BEEMS 2011, Bamber 1990).

Fische, aber auch andere mobile Taxa, können Gebiete mit den für sie ungünstigen Temperaturen vermeiden, so dass sie nicht direkt geschädigt werden. Für das Gebiet aber, das vermieden wird, führt das

zu einer veränderten Artgemeinschaft. Bisher gibt es kaum Anzeichen, dass Kühlwasser zu einer Wärmebarriere für wandernde Kaltwasserarten (Lachs, Meerforelle und Stint) geführt hat, aber im Hinblick auf die langfristigen Temperaturerhöhungen durch den Klimawandel und der Vielzahl von geplanten neuen Kraftwerken muss das überwacht werden.

Hammer et al. (2009) untersuchten die möglichen Auswirkungen durch die Kühlwassereinleitungen des geplanten Steinkohlekraftwerks in Lubmin am Greifswalder Bodden (Ostsee) auf die Heringsbestände und kamen zu dem Schluss, dass schon eine Temperaturerhöhung um 1 °C eine negative Wirkung auf den Reproduktionserfolg des frühjahrslaichenden Herings haben kann. Die Temperaturerhöhung führt zu einer Beschleunigung der Ei- und Larval-Entwicklung. Durch eine beschleunigte Entwicklung kann es zu einer Verschiebung in der Synchronisation zwischen der Larvenentwicklung und dem ersten Zeitpunkt der Larvenentwicklung kommen. Außerdem kann eine erhöhte Temperatur, in Verbindung mit einem erhöhten Nährstoffeintrag und einem daraus resultierenden höherem Kleinalgenwachstum, zu einer Veränderung des Phytals führen, so dass sich das Laichhabitat für den Hering reduzieren könnte. Es wurde darauf hingewiesen, dass die gemeinsame Wirkung mehrerer Stressoren mit einiger Sicherheit größere Bedeutung als die einzelner Faktoren hat. Das ist bei der Benennung von Grenzwerten zu beachten. Auf die adulten Heringe haben die erhöhten Temperaturen keinen Einfluss.

Hussain et al. (2010) zeigten bei einem Kraftwerk in Indien, dass die Muschel *Donax cuneatus* den direkten Bereich des Kühlwassers meidet und erst ab 400m Entfernung dieselben Abundanzen aufwies wie an Referenzstationen. Auch in diesem Beispiel können neben den Temperaturen auch veränderte Sedimentverhältnisse zu der Veränderung in der Besiedlung beigetragen haben.

5.4.1.1 Fallbeispiele Kühlwassereinträge durch das E.ON Kraftwerk an der Jade

An der Einleitungsstelle des E.ON Kraftwerkes wurde in den Jahren 1990 bis 2007 eine mittlere Kühlwassererwärmung von rund 8 K ($T_{\text{aus}} - T_{\text{ein}}$) bestimmt und innerhalb eines Jahres schwankten die Temperaturen des Kühlwassers von etwa 11 °C im Januar bis 26,5 °C im Juli und August (Arbeitsgemeinschaft IFEU et al. 2009). Aus den Auswertungen der FE kann die durch die Kühlwasserfahne des E.ON Kraftwerkes beeinflusste Fläche abgeschätzt werden (vergl. Kap. 4.2.1). Die beeinträchtigte Fläche ist eine schmale Zone und findet sich im direkten Bereich um die Einleitung und sie reicht Richtung Norden bis zum Jadeweser Port (ca. 2 km) und südlich etwa 1 km. Der Bereich >2K beschränkt sich auf einen sehr kleinen, schmalen Bereich südlich der Einleitung. Temperaturmessungen im Tiefenprofil in der Kühlwasserfahne haben ergeben, dass sie in 100m Entfernung noch eine Mächtigkeit von 4m und in 700m noch 2m aufweist (BAW 2007), so dass man davon ausgehen kann, dass das erwärmte Wasser auch das Benthos beeinflusst. Solange wie das Kraftwerk in Betrieb ist, wird der Bereich um die Einleitung ständig im Einflussbereich des erwärmten Wassers liegen, so dass anzunehmen ist, dass eine veränderte Artgemeinschaft im Benthos zu finden ist.

IBL (2008) haben ein Gutachten zu geplanten Kraftwerkserweiterungen erstellt. Sie betrachteten dabei Szenarien zwischen 51 m³ und 130 m³ Kühlwassereinleitung und bewerteten die Auswirkungen der Kühlwassereinleitungen auf die verschiedenen Schutzgüter in verschiedenen Bereichen der Jade anhand des Grades der Beeinträchtigung, wie sie in Tab. 32 definiert sind. Sie unterscheiden dabei zwischen drei Kategorien, ‚keine‘, ‚unerhebliche‘ und ‚erhebliche Beeinträchtigungen‘. Auswirkungen der Kühlwassereinleitungen fanden sie lediglich in dem Gebiet, das in unmittelbarer Nähe der Einleitung liegt. Eine ‚erhebliche Beeinträchtigung‘ fanden sie für alle Szenarien für die Schutzgüter Makroalgen und Fische, ‚keine Beeinträchtigung‘ fanden sie ebenfalls für alle Szenarien für die Schutzgüter Seegras, Meeressäuger und Sabellaria-Riffe und ‚unerhebliche Beeinträchtigung‘ für alle anderen Schutzgüter. Nach den Ergebnissen dieser Literaturstudie müsste im Bereich um die Einleitung eine veränderte Artgemeinschaft

im Benthos zu finden sein, da beispielsweise *Obelia longissima*, *Macoma balthica*, *Asterias rubens* oder *Balanus crenatus* hohe Temperaturen nicht mögen. Anders als die Weichbodenfauna, die sich ins Sediment eingraben kann, um zu hohen Temperaturen auszuweichen, werden insbesondere Aufwuchsorganismen wie z. B. *B. crenatus* durch erhöhte Temperaturen geschädigt.

Tab. 32: Ermittlung des Grads der Erheblichkeit der Beeinträchtigung (IBL 2008)

Erhebliche Beeinträchtigung	Unerhebliche Beeinträchtigung	Keine Beeinträchtigung
<p>Voraussetzungen:</p> <ul style="list-style-type: none">- Veränderung ist mess- oder beobachtbar,- Funktionen und Strukturen gehen verloren oder werden negativ verändert,- Beeinträchtigung dauert langfristig/dauerhaft an (≥ 3 Jahre) und- Beeinträchtigung über die Größe einer Bagatellfläche hinausgehend.	<p>Voraussetzungen:</p> <ul style="list-style-type: none">- Veränderung ist mess- oder beobachtbar,- Funktionen und Strukturen des Schutzgutes bleiben weitestgehend erhalten oder werden nur geringfügig verändert.	<p>Voraussetzungen:</p> <ul style="list-style-type: none">- keine mess- oder beobachtbare negative Veränderung (auch positive Veränderungen),- Funktionen oder Strukturen des Schutzgutes bleiben vollständig erhalten.

Tab. 33: Erheblichkeit der Auswirkungen der Kühlwassereinleitung am E.ON Kraftwerk für 5 verschiedene Szenarien auf unterschiedliche Schutzgüter, Teilgebiet 4 ist im direkten Bereich der Kühlwassereinleitung, Teilgebiet 6 im Jadebusen (IBL 2008). ue= unerheblich Auswirkung.

Teilgebiet 4

	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3	Szenario 4	Szenario 5
Kühlwassermenge (m ³ /s)	51	69	79	97	130
Wassertemperatur	ue	ue	ue	ue	ue
Sauerstoffgehalt des Wassers	ue	ue	ue	ue	ue
Seegras	KEINE	KEINE	KEINE	KEINE	KEINE
Makroalgen	Erheblich	Erheblich	Erheblich	Erheblich	Erheblich
Phytoplankton (neue Technik)	(ue)	(ue)	(ue)	(ue)	(erheblich)
Zooplankton	ue	ue	ue	ue	ue
Makrozoobenthos	ue	ue	ue	ue	ue
Muscheln	ue	ue	ue	ue	ue
Fische	Erheblich	Erheblich	Erheblich	Erheblich	Erheblich
Meeressäuger	KEINE	KEINE	KEINE	KEINE	KEINE
Sabellaria -Riff	KEINE	KEINE	KEINE	KEINE	KEINE
Finte/Neunauge	ue	ue	ue	ue	ue

Teilgebiet 6

	Szenario 1	Szenario 2	Szenario 3	Szenario 4	Szenario 5
	ue	ue	ue	ue	ue

5.4.1.2 Fallbeispiele E.ON Kraftwerk Brokdorf und KK Unterweser

Die Auswertungen der FE und Temperaturlängsprofilmessungen dieser Studie ergaben für die Weser, dass sich die Kühlwasserfahne als schmaler Streifen an der westlichen Flussseite in Abhängigkeit der Tidephase hin und her bewegt und die Bereiche der erhöhten Temperaturen (> 1 K) eine Flusslänge von 23 km (52 %) beeinträchtigen können (siehe Kapitel 4.2). Für die Elbe können, wegen fehlender Messungen, keine derartigen Aussagen gemacht werden und daher werden Simulationsergebnisse von DHI/WASY (DHI/WASY 2010; DHI-WASY 2011) herangezogen, die in Gutachten die Ausbreitung der Kühlwasserfahnen von geplanten Kraftwerken an der Elbe berechnet haben. Die Berechnungen ergaben, dass die Kühlwasserfahne (definiert als > 0,5 K) einen Bereich von etwa 50 km (30 km flussabwärts und 20 km flussaufwärts) beeinträchtigt (siehe Kapitel 4.3.3). Die Simulationsrechnungen für die Bodentemperaturen an der

Einleitungsstelle ergaben, dass sich das Wasser mit einer Temperatur von 3 K nur innerhalb der Mischungszone befindet.

Aus diesen Simulationsrechnungen kann geschlossen werden, dass die Temperaturerhöhungen durch die bisherigen Kühlwassereinleitungen keinen erheblichen Einfluss den gesamten Wasserkörper der Elbe hat. Auch Krieg (Krieg et al. 2010, Krieg 2011) kommen zu dem Schluss, dass von den Kühlwassereinleitungen keine erhebliche Beeinträchtigung auf die Schutzgüter der Elbe ausgeht. Werden jedoch alle in der Elbe geplanten Kraftwerke realisiert und die Temperaturerhöhung nimmt durch den Klimawandel weiter zu, müssen diese Aussagen erneut überprüft werden.

Sowohl in der Beweissicherung für das Kraftwerk Brokdorf (Riedel-Lorjé 1994, zitiert in IBL 2008), als auch in der Beweissicherung für das Kraftwerk KK-Unterweser (Vobach und Feldt 1991) konnten keine nachteiligen Beeinflussungen der Schutzgüter des Phyto- und Zooplanktons, Benthos und Fische nachgewiesen werden.

Auch Untersuchungen von Kraftwerken in anderen Regionen der Welt ergaben, dass in tidebeeinflussten Gewässern der Bereich von deutlich erhöhten Temperaturen (> 2 K) nur den direkten Bereich um die Einleitstelle zwischen 200 und 500m beeinträchtigt (Bamber 1990; Kailasam und Sivakami 2004; Riera et al. 2011).

5.4.2 Wärmefuhr durch Unterseekabel

Durch den weiteren Ausbau von Offshore Windparks oder anderen offshore Energiegewinnungsanlagen, wird die Leitung von Strom zum Land immer wichtiger und immer mehr Kabel müssen verlegt werden. Einer Studie der Deutschen Energie-Agentur (Dena 2010) zufolge wird für das Jahr 2015 eine Erzeugungskapazität 7 GW und bis 2020 14 GW prognostiziert. Für die in der Dena-Netzstudie II untersuchten Varianten werden für die Anbindung der Offshore-Windparks bis 2020 Seekabel mit einer Länge von insgesamt 1.550 km benötigt.

Mögliche Auswirkungen von Unterwasserkabeln auf die Umwelt sind Störungen, Unterwassergeräusche, elektromagnetische Felder, Abwärme und Kontamination u. a. durch Nährstofffreisetzung (OSPAR Commission 2012).

Es werden Wechselstromkabel (AC Alternating Current), die in der Regel kein magnetisches Feld erzeugen und Gleichstromkabel (DC Direct Current, HVDC High Voltage Direct Current) mit einer höheren Übertragungskapazität benutzt. Letztgenannte werden daher als Longdistance cables benutzt. Die Kabel haben einen Durchmesser von maximal 15 cm und haben die Kapazität von mehreren hundert Megawatt (MW), 700MW im Fall von NorNed-Kabel zwischen Niederlanden und Norwegen (OSPAR Commission 2009).

Telekommunikationskabel sind heutzutage Glasfaserkabel, die alle 17-34nm Repeaters brauchen, die mit Strom durch Stromkabeln versorgt werden müssen (OSPAR Commission 2012). Moderne Glasfaserkabel haben einen Durchmesser von 2-5cm und geben wenig Wärme ab (OSPAR Commission 2012).

Durch das Kabelverlegen und den Betrieb des Kabels wird in der Regel nur das Benthos beeinträchtigt. Zoo- und Phytoplankton kann durch die erhöhte Trübung beim Verlegen des Kabels beeinträchtigt werden, aber im Normalbetrieb haben Seekabel auf Phyto- und Zooplankton keine erheblichen Auswirkungen, so dass nach aktuellem Kenntnisstand erhebliche Auswirkungen von Seekabeln auf Phyto- und Zooplankton mit ziemlicher Sicherheit ausgeschlossen werden (Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie, Hamburg 2009).

Während der Betriebsphase der Windparks erwärmen sich die Kabel und das hat Einfluss auf Benthos (OSPAR Commission 2009). Beim Betrieb von Drehstromkabeln kann eine Erwärmung der obersten Sedimentschicht des Meeresbodens auftreten, so dass es zu einer „*kleinräumigen und dauerhaften potenziellen Beeinflussung der Benthosorganismen aufgrund der Sedimenterwärmung durch Stromkabel kommen kann*“ (Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie, Hamburg 2009). AC Kabel geben mehr Wärme ab als HVDC Kabel, bei vergleichbaren Übertragungsraten. Dabei können insbesondere in tieferen Bereichen gebietsweise vorkommende kaltstenotherme Arten (z. B. *Arctica islandica*) aus dem Bereich der Kabeltrassen verdrängt werden.

Mit welcher Temperaturerhöhung ist im Sediment zu rechnen?

Die Wärmeabgabe von Unterseekabeln wird mit 10 bis maximal 100 W/m (Worzyk 2009) angegeben und wenn das Kabel eingegraben und ausgelastet ist, wird es kontinuierlich 1 bis 10 MW pro 100 km Kabel abgeben (Tasker et al. 2010).

Die wichtigsten Faktoren, die den Grad der Wärmeabgabe beeinflussen, sind die Art des Kabels, die Übertragungsrate und der Sedimenttyp, der das Kabel umgibt (OSPAR Commission 2012). Die im Sediment am Meeresgrund verlegten Kabel verursachen in ihrer Umgebung eine erhebliche Temperaturerhöhung. Die Leitertemperatur kann maximal 90 °C und die Manteltemperatur maximal 70 °C betragen (Bundesamt für Strahlenschutz 2005). Die Erwärmung des Sediments unmittelbar am Kabelmantel hängt vom Kabeltyp, dessen Auslastung, der aktuellen Sedimenttemperatur sowie der Wärmekapazität und der Wärmeleitfähigkeit des Sediments ab (Bundesamt für Strahlenschutz 2005).

Unter ungünstigsten Umständen muss mit einem Temperaturanstieg um bis zu 30 K unmittelbar am Kabel gerechnet werden, im Durchschnitt ist ein Temperaturanstieg im Bereich von 5 - 15 K zu erwarten. Ein entsprechender Wärmegradient erstreckt sich dann über mehrere Meter (Pophof und Geschwentner 2013).

Hinsichtlich der Erwärmung des Sediments durch stromabführende Kabel wird vom Bundesamt für Naturschutz ein Vorsorgewert von weniger als 2 K in 20 cm Tiefe des Sediments favorisiert. Bei ausreichender Verlegetiefe und unter Berücksichtigung der Tatsache, dass die Effekte kleinräumig, d. h. wenige Meter beiderseits des Kabels, auftreten werden, werden nach derzeitigem Kenntnisstand Auswirkungen auf die Benthos-Lebensgemeinschaften nicht erwartet (Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie, Hamburg 2009).

Um die oben genannten Anforderungen zu erfüllen, werden die Kabel in einer Tiefe von 1 - 3 m verlegt. Dadurch wird das Sediment laut Modellrechnungen vor allem in der Tiefe erwärmt. In 3 m Tiefe hat das Sediment das ganze Jahr über eine Normaltemperatur von 9 - 10 °C. In unmittelbarer Nähe des Kabels steigen die Temperaturen durchschnittlich auf etwa 15 - 25 °C an, sodass eine Temperatur herrscht, die sonst nur an der Sedimentoberfläche im Sommer gemessen wird (Pophof und Geschwentner 2013).

Bisher gibt es nur wenige Studien, die in situ die Wärmeabgabe an den Kabeln gemessen haben (OSPAR Commission 2009). Ausnahme ist die Studie von Meißner et al. (2007), die nachwies, dass die Temperatur nur um 1,4 °C in 20 cm Sedimenttiefe über dem Kabel angestiegen war. Die Kapazität des Kabels betrug jedoch auch nur 166 MW. Das grobe Sediment im Untersuchungsgebiet ermöglichte außerdem eine höhere Wärmeabgabe durch das Porenwasser, als in feinkörnigeren Sedimenten. Wegen fehlender Daten konnte keine Korrelation zwischen Temperaturanstieg und transportierter Wärme gefunden werden. Bioconsult (2013) untersuchten die Sedimenterwärmung durch Kabel im Windpark von der Alpha-Ventus im Misch- und Sandwatt. Sie haben die Temperatur über dem Kabel, aber auch auf

Transekten senkrecht zum Kabel gemessen. Auch bei Höchstlast wurde das Einhalten des 2 K Kriteriums gewährleistet. Die maximalen Temperaturerhöhungen betragen 1,38 K im Mischwatt und 0,77 K im Sandwatt. Erwartungsgemäß nimmt der Einfluss der Auslastung auf die Sedimenttemperaturen mit größerer Tiefe zu. Die Aussage zu der Breite des Temperatureinflusses waren nicht einheitlich an den unterschiedlichen Messzeitpunkten. Die größten Unterschiede wurden bei einer Messung im April 2012 ermittelt mit 7m (3 bis 4m rechts bzw. links vom Kabel) im Sandwatt und 0,4 K und 5m und 0,3K im Mischwatt.

Bewertung der Temperaturerhöhung im Sediment

Die tägliche Temperaturschwankung beträgt natürlicherweise im Schlickwatt in 20 cm Sedimenttiefe gewöhnlich weniger als 1 °C (Langford 1990). An der Sedimentoberfläche wurden Temperaturschwankungen von mehr als 10 °C in ästuarinen Schlicksedimenten gemessen und in 2 bis 5 cm Sedimenttiefe stabilisierten sich die Temperaturschwankungen (Spencer 1979, zitiert in Langford 1990). Die Temperaturerhöhung soll im Wattenmeer laut Vorgabe der Nationalparkverwaltung Niedersächsisches Wattenmeer 2 K in 30 cm im Sedimenttiefe nicht überschreiten, in der AWZ sollen entsprechend der Empfehlung des Bundesamtes für Naturschutz 2 K in 20 cm Tiefe nicht überschritten werden. Festlegungen, ab welcher Temperaturerhöhung im Sediment Folgen für die marine Umwelt zu erwarten sind, sind auf Grundlage des derzeitigen Kenntnisstandes nicht möglich (Pophof und Geschwentner 2013). Eine Bündelung der Kabel in Trassen, wie sie zum Beispiel auf Norderney bereits erfolgt ist, ist empfehlenswert. Es sollten auf jeden Fall noch genügend Flächen frei bleiben, in denen auch Tiere, deren Verhalten durch elektrische oder magnetische Felder beeinflusst wird, ungestört bleiben. Eine weitere begleitende Forschung ist notwendig.

Die vertikale Besiedlung des Sediments durch Benthosorganismen wurde z. B. von Ankar und Jansson (1973) in der Ostsee untersucht und sie fanden, dass das Meio- und Makrobenthos auf die oberen 7cm in sandigen und schlickigen Sedimenten beschränkt war. Jedoch gibt es Arten, die sich wesentlich tiefer ins Sediment eingraben, z. B. der Wattwurm *Arenicola marina*, der seine Röhren bis 40cm Sedimenttiefe baut.

Brakelmann (2011) hat für den Windpark Nordergründe die Wärmeemission in 30 cm Sedimenttiefe und einer Verlegetiefe von 1,5m bei Vollast untersucht. Die Kabelerwärmung betrug 45,3 °C und im Worst Case Fall bei 78 % Auslastung und einem Lastsprung auf 95 % des Windparks wurden maximal 2K in 30cm Tiefe gemessen. Auch Oecos (2012) in ihrer Umweltverträglichkeitsstudie für den Windpark Ostseeschatz kommen zu dem Schluss, dass bei einer Sedimentüberdeckung des Kabels von 100cm und 3-tägiger Vollast in 20cm Sedimenttiefe maximal 0,7K erreicht werden, so dass negative Auswirkungen auf das Benthos oder die Geochemie des Sediments ausgeschlossen werden. Auch die Tatsache, dass sich Zeiten mit hoher und niedriger Auslastung abwechseln, führt dazu, dass im Sediment immer wieder natürliche Temperaturen erreicht werden.

Viele Organismen reagieren auf minimale Temperaturveränderungen, aber Feld- oder Labormessungen fehlen fast völlig (OSPAR 2012). Eine Ausnahme ist die Untersuchung von Borrmann (2006), der das Verhalten von zwei Benthosarten auf Temperaturveränderungen untersucht hat. Er kam zu dem Ergebnis, dass der Polychaet *Marenzelleria viridis* Bereiche mit erhöhter Temperatur mied, andererseits der Krebs *Corophium volutator* aber keine Verhaltensänderung durch Temperaturerhöhung zeigt. Daher ist eine Bewertung über die Auswirkungen zurzeit schwierig.

Durch erhöhte Temperaturen im Sediment kann sich die Bakterienaktivität erhöhen (Meißner et al. 2007). Auch wenn die Kabel in tieferen Sedimentschichten liegen, können sich die Auswirkungen über das

Porenwasser an die Oberfläche übertragen (OSPAR 2012). Der Anteil an organischem Material, beeinflusst diese Prozesse. Es ist eine Notwendigkeit weitere Felduntersuchungen durchzuführen (OSPAR 2012).

5.5 Ableitung von Grenzwerten

Die Ableitung und Festlegung von thermischen Grenzwerten für die Küsten- und Übergangsgewässer ist aus mehreren Gründen notwendig, da

- die bisherigen thermischen Grenzwerte für Küsten- und Übergangsgewässer aus dem Süßwasser übernommen wurden,
- sie hauptsächlich auf den Anforderungen für Fische basieren und die anderen Schutzgüter der Fauna und Flora ignorieren, die aber nach WRRL und MSRL auch berücksichtigt werden müssen,
- zu wenig zwischen der gesamten Wassersäule, der Temperatur am Boden und an der Oberfläche der Wärmefahne unterschieden wird,
- nicht zwischen Lang- und Kurzzeitbeeinträchtigung unterschieden wird,
- saisonale Unterschiede nicht berücksichtigt werden,
- klimatische Temperaturerhöhung berücksichtigt werden sollte,
- mögliche synergistische oder antagonistische Effekte von Temperaturerhöhung und anderen anthropogenen Störungen (Sauerstoffmangel, chemische Toxine) berücksichtigt werden sollten.

Die Ausführungen dieser Studie beschränken sich auf die Gewässer um die Nordsee inklusive der angrenzenden Übergangsgewässer.

Die Temperaturgrenzwerte sollten die Letal-, die für Wachstum und Laichen notwendigen Optimal- und auch die Vermeidungstemperaturen berücksichtigen. Optimale Temperaturen sind für Kaltwasserarten niedriger als für Warmwasserarten und müssen daher mehr berücksichtigt werden. Auch saisonale Laichgebiete sollten bei der Grenzwertbestimmung besonders bewertet werden.

Der Wärmelastplan für die Elbe (2008) orientiert sich bei der Festsetzung der Temperaturgrenzwerte an der EU Süßwasserrichtlinie und gibt an der Grenze der Mischungszone 28 °C als Maximaltemperatur und ein $\Delta T \geq 3K$ an. Das Elbeästuar ist aber als Kaulbarsch-Flunder-region einzustufen (Gaumert 1995), da in diesem Gewässer eine sehr viel größere Artendiversität bestehend aus Kalt- und Warmwasserarten vorkommt. Kaltwasserarten wie Quappen, Heringe, Lachse, Meerforellen, Nordseeschnäpel, Maifische und insbesondere die Ei- und Larvenstadien der hier laichenden Finte können solche hohen Temperaturen nicht mehr tolerieren (Otto und Zahn 2008). Turnpenny und Liney (2007) stellten die Grenzwerte im internationalen Vergleich gegenüber (Tab. 40 in Kapitel 6.3). Sie schlagen vor, Ästuarregionen als Kaltwasserregion einzustufen und geben 23 °C gemäß WRRL als Grenzwert für den guten Zustand an (28 °C als mäßig und 30 °C als mangelhaft). Otto und Zahn (2008) schlagen als Sommerwert 25 °C für den Elbeabschnitt zwischen Geesthacht und Cuxhaven vor und sehen ein ΔT von 3 K als akzeptabel an, sofern 25 °C bzw. 10 °C nicht überschritten wird.

Temperaturtoleranzen der einzelnen Gruppen

Seegräser: *Zostera noltii* und *Zostera marina* werden als tolerant gegenüber Temperaturerhöhung angesehen und eine Temperaturtoleranz von 30 °C wird für beide Arten angegeben (Tyler-Walters 2005;

Tyler-Walters 2008b). Es gibt aber Hinweise aus der Literatur, dass *Z. marina* ab 25 °C Stresssymptome aufweist (Reusch 2005, zitiert in IBL 2008). Der vorgeschlagene Grenzwert von 25 °C würde für die Temperaturtoleranzen der Seegräser berücksichtigen.

Makroalgen: für die meisten Arten, die in der Jade gefunden wurden konnten keine Temperaturinformationen gefunden werden. *Fucus vesiculosus* (White 2008a) und *Ulva intestinalis* (Budd und Pizzola 2008) sind als tolerant gegenüber Temperaturerhöhung eingestuft. Die Abundanz von *Ulva intestinalis* nimmt an der Kühlwassereinleitstelle zu und für *F. vesiculosus* werden Temperaturtoleranzen > 30 °C angegeben. Arten der Gattung *Cladophora* gelten ebenfalls als tolerant gegenüber höheren Temperaturen. Die NIS *Gracilaria vermiculophylla* ist sehr tolerant gegenüber allen möglichen Stressfaktoren und wächst zwischen 5-35 °C (optimale Bedingungen zwischen 15 und 25 °C) (Thomsen 2011). Es scheint, als ob für diese Gruppe eine Temperaturerhöhung kein Problem darstellt.

Phytoplankton: Diatomeen mögen keine Temperaturen > 25 °C, die anderen Gruppen können deutlich höhere Temperaturen vertragen.

Makrozoobenthos: Generell wird das Makrozoobenthos im Wattenmeer als eurytherm angesehen. Dennoch gibt es (mindestens) drei benthische Arten, die in der Jade gefunden wurden, und als sehr intolerant gegenüber Temperaturerhöhungen eingestuft werden: *Asterias rubens* (Budd 2008), *Balanus crenatus* (White 2004) und *Obelia longissima* (Tyler-Walters 2003). *A. rubens* beendet seine Fressaktivität bei Temperaturen > 18 °C, *B. crenatus* Aktivitäten erlöschen bei Temperaturen > 25 °C und *O. longissima* hört auf zu wachsen bei Temperaturen > 27 °C und Hydranthen (Köpfchen) entwickeln sich erst bei Temperaturen unter 20 °C.

Fische: Fische können ungünstigen Temperaturbedingungen ausweichen. Es gibt aber viele kaltstenotherme Arten, die hohe Temperaturen nicht mögen, z. B. die Aalmutter, der Hering oder die Lachsartigen Fische (Lachs, Meerforelle und Stint).

International wird für marine Bereiche meist eine erlaubte Aufwärmspanne von 1 K angegeben (Turnpenny und Liney 2006) (Tab. 40) in Kapitel 6.3. Ausnahme sind die Niederlande, die eine Maximaltemperatur von 25 °C und 2K angeben. Bei den in Kapitel 4 ausgewerteten Temperaturdaten wurde im langjährigen Mittel für die Jade und im Ästuar der Elbe und Weser Maximaltemperaturen von 23 °C ermittelt.

Die oben vorgeschlagenen Grenzwerte sind im Einklang mit den von IBL (2008) vorgeschlagenen Schwellenwerten für die verschiedenen Schutzgüter (Tab. 33).

Tab. 34: Übersicht der Erheblichkeit der Beeinträchtigung durch Kühlwasserrückgabe aus IBL 2008. ein Schwellenwert ist erreicht, wenn die angegebene maximale Aufwärmung ΔT [K] oder Temperatur [°C] vorliegt.

Schutzgut	Schwellenwerte, deren Überschreitung zu Auswirkungen führen kann		
	Keine Auswirkungen	Unerhebliche Auswirkungen	Erhebliche Auswirkungen
	Aufwärmung ΔT [K] bzw. Temperatur [°C]		
Wasser (ohne Sauerstoffeintrag bei Rückgabe)	$\leq 1,0$ K	> 1 bis 5 K	> 5 K
Wasser (mit Sauerstoffeintrag bei Rückgabe)	$\leq 3,0$ K	> 3 bis 10 K	> 10 K
Seegras (<i>Z. noltii</i>)	$\leq 5,0$ K	5,0 bis 10,0 K	≤ 30 °C > 10 K ≥ 30 °C

Seegras (<i>Z. marina</i>)	≤ 5,0 K	5,0 bis 10,0 K	≤ 25 °C	> 10 K	> 25 °C
Makroalgen/ Phytoplankton	≤ 2,0 K	2,0 bis 10,0 K	≤ 25 °C	> 5,0 K	> 25 °C
Zooplankton	≤ 2,0 K	2,0 bis 10,0 K	≤ 30 °C	> 10 K	> 30 °C
Makrozoobenthos: Krebse	≤ 2,0 K	5,0 bis 10,0 K	≤ 30 °C	> 10 K	> 30 °C
Makrozoobenthos: Muscheln	≤ 0,5 K	0,5 bis 2,0 K		> 2,0 K	
Makrozoobenthos: Sonstige	≤ 2,0 K	5,0 bis 10,0 K	≤ 30 °C	> 10 K	> 30 °C
Fische	≤ 0,5 K	0,5 bis 1,5 K		> 1,5 K	

Absolutes Temperaturmaximum

Turnpenny und Liney (2007) schlagen die in Tab. 35 aufgelisteten thermischen Grenzwerte als jährliche 98te Perzentile der Wassertemperatur am Rande der Mischungszone vor. Die Temperaturstandards leiteten sie auf Grundlage des Konzeptes der ‚thermischen Nische‘ (Magnuson et al. 1979) ab, das besagt, dass die meisten Fische 2/3 ihrer Zeit in einem Temperaturbereich von ± 2 °C von ihrer Vorzugstemperatur (thermal preferendum) leben. Den Bereich der oberen Grenze der thermischen Nische geben sie als Grenze zwischen dem ‚sehr guten‘ bis ‚guten‘ Zustand an. Als Grenze zwischen dem ‚guten‘ und ‚mäßigen‘ Zustand setzen sie die obere Temperaturgrenze des Bereiches in dem die meisten Fisch die ganze Zeit ihres Lebens verbringen (± 5 °C von der Vorzugstemperatur). Der ‚mäßige‘ und ‚unbefriedigende‘ Zustand wird durch den unteren Grenzwert des unteren Letaltemperaturbereiches getrennt und der ‚schlechte‘ Zustand ist mit dem oberen Grenzwert des Letaltemperaturbereiches erreicht.

In BEEMS (2011) hat eine Expertengruppe zahlreiche Veröffentlichungen der letzten 50 Jahre bezüglich der Auswirkungen von Temperaturerhöhungen auf Organismen gesichtet. Auf Grundlage ihrer Erkenntnisse wurden die von Turnpenny und Liney (2007) vorgeschlagenen Temperaturstandards mit einer Ausnahme bestätigt. Der maximal erlaubte Wert von 20 °C für den ‚sehr guten‘ Zustand soll nach BEEMS (2011) auf 23 °C angehoben werden, da im Sommer im südlichen England solche Temperaturen natürlicherweise auftreten können. Sie erläutern, dass diese allgemein für England und Wales festgesetzten Werte u. U. angepasst werden müssen, wenn das Sommermaximum natürlicherweise höher oder niedriger ist.

Tab. 35: Grenzwerte für Wassertemperaturen am Rand der Mischungszone zur Bewertung von Wärmeeinleitungen nach Turnpenny und Liney (2007).

Absolutes Temperatur-Maximum (Turnpenny und Liney (2007))

Typologie	Normative Definition der Klassengrenzen			
	sehr gut/gut	gut/mäßig	mäßig/unbefriedigend	unbefriedigend/schlecht
Kaltwasser,	20 °C	23 °C	28 °C	30 °C
Warmwasser	25 °C	28 °C	30 °C	32 °C

Maximale Temperaturerhöhung

Die Beschränkung der maximalen Temperaturerhöhung soll unter anderem verhindern, dass wärmeliebende Arten, die von höheren Temperaturen profitieren, Arten verdrängen, die auf kältere Konditionen angewiesen sind, so dass es zu Artenverschiebungen im Ökosystem kommen kann. Beispiele dafür sind z. B.:

- die kalttemperierte Art *Carcinus maenas*, die zwar in dauerhaft erwärmten Orten (14 °C bis 28 °C - statt z. B. 11 bis 25 °C) sehr häufig vorkommt, aber sich dort nicht vermehren kann (Naylor 1965),
- zwei Arten der Gattung *Bugula*, die durch die höheren Temperaturen längere Fortpflanzungszeiten haben,
- *Botryllus schlosseri* und *Ciona intestinalis*, die sich sogar zweimal im Jahr fortpflanzen und
- *Acartia tonsa* und andere Arten kommen in dauerhaft erwärmten Orten in ungewöhnlich hohen Abundanz vor (Naylor 1965).

Die Ableitung der Grenzwerte für ΔT , die in der Fischgewässerrichtlinie 2006 (RL 2006/44/EG) angegeben sind ($\Delta T = 1,5$ K für Salmoniden- und 3°K für Cyprinidengewässer), sind auch deshalb eingeführt worden, um einen zu scharfen Temperaturgradienten zu verhindern, so dass sich keine thermischen Barrieren im Gewässer ausbilden können, die die Fische bei der Auf- oder Abwärtswanderung behindern (s. auch Kapitel 7.2).

Turnpenny et al. (2006, zitiert in (Turnpenny und Liney 2007) fanden in der Literatur jedoch keinen Beweis für thermische Barrieren, mit Ausnahme im Bereich der Letaltemperaturen.

Experimente mit jungen Lachsen und Meerforellen (Smolts), die zum Meer wandern, haben gezeigt, dass es zwar einige Individuen gab, die Temperaturunterschiede von $\Delta T \leq 1$ K erkennen und vermeiden konnten, aber die Mediane der Grenzwerte der Vermeidungstemperaturen waren $\Delta T = +6$ K für junge Meerforellen und $\Delta T = +4$ K für junge Lachse. Aufgrund von telemetrischen Studien konnte nachgewiesen werden, dass adulte Lachse ein ΔT von 9 K – 10 K im Themse-Ästuar passieren. Aus diesem Grund sehen Turnpenny und Liney (2007) es als ausreichend an, als maximal zulässige Temperaturerhöhung 3 K anzugeben und nicht den strengereren Wert von 1,5 K. Auch Otto und Zahn (2008) empfehlen 3 K als Grenzwert für die maximale Aufwärmspanne an der Mischungszone in Übergangsgewässern.

Aus Forschungen zur Klimaerwärmung wissen wir, dass dauerhafte Temperaturerhöhungen von weniger als 2 K zu einer deutlichen Veränderung in der Artenzusammensetzung (Zunahme von wärmeliebenden Arten und Neozoen sowie Abnahme einiger kälteliebender Arten) führen können, wie beispielsweise Beukema und Dekker (2011) für das niederländische Wattenmeer und auch Kröncke et al. (2011) für das Benthos in der offenen Nordsee gezeigt haben. Beukema et al. (2009) beschreiben, dass das Vorkommen der kälteliebenden Art *Macoma balthica* infolge der Temperaturerhöhungen im niederländischen Watt deutlich abgenommen hat und auch Schückel und Kröncke (2013) finden in der Jade in 2009 deutlich weniger *M. balthica* als in den 1970ern. Allerdings lassen sich die klimatischen Temperaturerhöhungen nur teilweise mit den Temperaturerhöhungen durch Kühlwassereinleitungen vergleichen, denn in einem Tidegewässer bewegen sich die Wärmefahnen hin und her, so dass es - mit Ausnahme der Mischungszone zu keiner dauerhaften Temperaturerhöhung kommt, sondern es stellen sich immer wieder natürliche Temperaturen in dem Bereich ein.



Tab. 36: Grenzwerte für Wassertemperaturen am Rand der Mischungszone zur Bewertung von Wärmeeinleitungen nach Turnpenny und Liney (2007).

Maximale Temperaturerhöhung (Turnpenny und Liney, 2007))

Typologie	Normative Definition der Klassen				
	sehr gut	gut	mäßig	unbefriedigend	schlecht
Kaltwasser	2 K	3 K	3 K	3 K	3 K
Warmwasser	2 K	3 K	3 K	3 K	3 K

6 Bestehende Richtlinien, Bewertungsansätze und Grenzwerte

6.1 Richtlinien

Für die Bewertung der Wärmeeinträge in die Küsten- und Übergangsgewässer sind die Vorgaben der Wasserrahmen-Richtlinie (WRRL) und der Meeresstrategie-Richtlinie (MSRL) zu berücksichtigen.

6.1.1 WRRL (RL 2000/60 EG)

Die WRRL berücksichtigt für die Bewertung des Gewässers die Wassertemperatur zweifach:

- 1) Die WRRL zählt die Temperaturverhältnisse zu den physikalisch-chemischen Qualitätskomponenten für die ökologische Zustandseinschätzung. Für den guten Zustand bzw. für das gute ökologische Potential bzgl. der Temperatur wird folgende normative Begriffsbestimmung für Flüsse, Übergangs- und Küstengewässer aber auch für die erheblich veränderten Wasserkörper (HMBW) definiert: Die Werte für die Temperatur geht nicht über den Bereich hinaus, innerhalb dessen die Funktionsfähigkeit des Ökosystems und die Einhaltung der in der WRRL beschriebenen Werte für die biologischen Qualitätskomponenten gewährleistet sind.¹⁷⁾
- 2) Für die Qualitätskomponente ‚Fischfauna‘ wird außerdem in den Flüssen und Übergangsgewässern für den guten Zustand gefordert, dass die physikalisch-chemischen Qualitätskomponenten nur in wenigen Fällen auf Störungen der Fortpflanzung oder Entwicklung einer bestimmten Art hinweisen, die einen Einfluss auf die Altersstruktur der Fischfauna haben können.

In der WRRL wird auf die Durchgängigkeit der Übergangsgewässer in Abhängigkeit von der Wassertemperatur für wandernde Fische nicht direkt eingegangen. Sie kann aber indirekt aus den beiden oben beschriebenen Punkten abgeleitet werden, in dem die Funktionsfähigkeit des Ökosystems nicht gewährleistet wäre und sich die Altersstruktur der Fischgemeinschaften verändern würde, wenn die Fische in ihrer Laichwanderung eingeschränkt wären. Direkt wird die Durchgängigkeit für Flüsse durch die WRRL lediglich (Übergangsgewässer sind nicht berücksichtigt) im Zusammenhang mit den Komponenten für Hydrologie und Morphologie gefordert.

Für die operative Überwachung der Temperatur gibt die WRRL für Flüsse, Übergangs- und Küstengewässer Messfrequenzen von drei Monaten an. Aufgrund von Expertenwissen und vom aktuellen Wissensstand kann die Frequenz aber verlängert werden.

6.1.2 MSRL (RL 2008/56/EG)

Im Rahmen der MSRL wurden von Deutschland sieben Umweltziele nach Artikel 10 für die deutsche Nordsee definiert (BLANO 2012c). Zwei davon haben Bezug zur Einleitung von Energie

- 1) Meere ohne Beeinträchtigung der marinen Arten und Lebensräume durch die Auswirkungen menschlicher Aktivitäten und
- 2) Meere ohne Beeinträchtigung durch anthropogene Energieeinträge.

¹⁷⁾) Geringfügige Abweichungen von typspezifischen Gemeinschaften in Bezug auf Taxa, Abundanzen, Phytoplanktonbiomasse, Planktonblüten, ökologisches Gleichgewicht, Vorhandensein empfindlicher Arten des wirbellosen Benthos und Abundanz störungsempfindlicher Fischarten.

Die Belastungen im Gewässer sollen gemäß MSRL durch 11 Deskriptoren (Anhang I MSRL) auf Grundlage von spezifischen Kriterien und Indikatoren (KOM-Beschluss 2010/477/EU) beschrieben, gemessen und bewertet werden.

Im Zusammenhang mit dieser Studie sind die Vorgaben des Deskriptors 11 relevant:

„Die Einleitung von Energie, einschließlich Unterwasserlärm, bewegt sich in einem Rahmen, der sich nicht nachteilig auf die Meeresumwelt auswirkt.“

Bisher wurden für den Deskriptor 11 nur Bewertungskriterien für den Unterwasserlärm angegeben während die anderen Energieeinleitungen z. B. Wärme unberücksichtigt blieben (KOM 2010). Daher forderte der KOM-Beschluss und auch Tasker et al. (2010) die Wissenschaft auf weitere Untersuchungen durchzuführen, um auch die anderen Energieformen bewerten zu können

In der Anfangsbewertung für die Nordsee gemäß MSRL §8 (BLANO 2012a) hat Deutschland bezüglich des Energieeintrages als Quellen für Wärmeeinleitungen vor allem unterseeische Stromkabel und Kühlwassereinleitungen von Kraftwerken genannt. Es wurde angemerkt, dass die gewässerökologische Verträglichkeit von Wärmeeinleitungen in Umweltverträglichkeitsprüfungen bestimmt wird (und wurde) und dass bisher weder für die Abwärme von Stromkabeln, wenn sie in der vorgeschriebenen Sedimenttiefe verlegt wurden, noch von Kraftwerken in Küsten- und auch in den Übergangsgewässern nennenswerte Wirkungen auf das thermische Regime der Gewässer nachgewiesen werden konnten. Es wird davon ausgegangen, dass eine signifikante Erhöhung der Wassertemperaturen nur lokal gegeben ist (Tasker et al. 2010) und dass es nur im Umfeld zu stressbedingten Beeinträchtigungen der Lebensgemeinschaften kommt. Es wurde weiterhin darauf hingewiesen, dass synergistische Effekte auftreten können und dass lokale Auswirkungen von Kühlwassereinleitungen auf die globale Erwärmung infolge des Klimawandels aufsetzen.

Auch die Ergebnisse dieser Studie unterstützen die Einschätzung, dass es nur im Umfeld der Wärmeeinleitung zu deutlich höheren Temperaturen kommen kann (s. o. unter Punkt WRRRL) und dass eine großräumige andauernde Temperaturerhöhung nicht beobachtet wird, da die eingeleitete Wärmemenge im Verhältnis zu der großen Wassermasse im Ästuar (Tidevolumen) relativ gering ist oder es in den Windparks immer wieder Phasen mit geringen Windgeschwindigkeiten gibt, so dass kein Strom abgeleitet wird und in den Sedimenten wieder natürliche Temperaturen herrschen. Weiterhin wurde in dieser Studie gezeigt, dass insbesondere wärmeliebende NIS in den Bereichen von dauerhaft erhöhten Temperaturen z. B. innerhalb der Mischungszone gute Lebensbedingungen finden sich zu etablieren. NIS werden gemäß MSRL durch Deskriptor 2 bewertet und daher müssen die Temperaturverhältnisse auch in diesem Sinne beachtet werden.

In der Beschreibung des guten Umweltzustandes (GES) für die deutsche Nordsee gemäß MSRL §9 (BLANO 2012b) wird darauf hingewiesen, dass für eine differenzierte Darstellung des GES bzgl. der Energieeinträge weiterer Forschungsbedarf hinsichtlich der Temperatureinträge und ihrer Wirkungen besteht. Die Wirkungen von signifikanten Temperaturerhöhungen treten sehr lokal auf und können nur vor den individuellen Bedingungen des Einleitungspunktes und der Sensitivität der Gewässerumgebung betrachtet werden. Daher regeln lokal abgestimmte Lastpläne mit entsprechenden Kontrollwerten die Bedingungen der Einleitung und deren Überwachung (BLANO 2012a). Temperaturgrenzwerte gibt Deutschland nur für Wärmeeinträge von Stromkabeln an. Der GES ist demnach erreicht, wenn die Grenzwerte für Sedimente im Wattenmeer 2 K in 30 cm Sedimenttiefe und der AWZ 2 K in 20 cm Sedimenttiefe nicht übersteigen.

Indikatoren für die Temperatureinträge sind die Temperatur und die räumliche Ausdehnung der Wärmeentstehung. Als operatives Ziel für Wärme wurde von Deutschland festgelegt (BLANO 2012c): „Der anthropogene Wärmeeintrag hat räumlich und zeitlich keine negativen Auswirkungen bzw. überschreitet

die abgestimmten Grenzwerte nicht.“ Der GES für den Deskriptor 11 kann nur dann erreicht werden, wenn die Einträge von Energie z. B. Wärme innerhalb der zum Teil noch zu definierenden Grenzwerte bleiben.

Der Einfluss von erhöhten Temperaturen auf die potentielle Ansiedlung von wärmeliebenden NIS wurde im Rahmen der Beschreibung des guten Umweltzustandes der Nordsee oder bei der Definition des GES bisher nicht berücksichtigt.

6.2 Nationale Bewertungsansätze und Grenzwerte

Für den Jade-Wasserkörper und die Flüsse Ems, Weser und Elbe wurden so genannte Wärmelastpläne erstellt (Wärmelastplan Tideelbe, 2008; Wärmelastplan Weser, 1974; Arbeitsgemeinschaft IFEU, ARSU und IMP, 2009). Der Lastplan für die Tideelbe dient als:

„ ... ermessenslenkende Verwaltungsvorschrift, die als solche im Bewirtschaftungsplan der Flussgebietsgemeinschaft Elbe (FGG Elbe) Erwähnung findet. Rechtliche Grundlage bildet das wasserwirtschaftliche Bewirtschaftungsermessen. Unmittelbar maßgebend ist die jeweilige wasserrechtliche Erlaubnis.“ (Wärmelastplan Tideelbe, 2008)

Die Lastpläne versuchen vorhandene und zukünftige Wärmebelastungen zu bewerten und durch Wärmeeinleitungen bedingte Einwirkungen räumlich und zeitlich zu charakterisieren. Sie führen weiter Kriterien für Wärmeeinleitungen auf, die das Ziel haben die betreffenden Flussgebiete als Lebensraum gemäß den Anforderungen der EG-Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) zu erhalten und zu gegebenenfalls verbessern sowie nachteilige Einwirkung auf die Gewässer ausschließen.

Grundsätzlich gibt es vier Arten von Grenzwerten:

1. Maximales Jahresvolumen, das entnommen werden darf
2. Maximal erlaubte Temperaturerhöhung des entnommenen Wassers gemessen im Rücklauf (in der Regel ca. 10 K)
3. Maximal erlaubte Temperaturerhöhung ΔT am Rand der Mischungszone (in der Regel ca. 3 K)
4. Maximal erlaubte Temperatur in der Mischungszone (in der Regel 30 °C)

Als Mischungszone wird entweder der Übergang vom Uferbereich zum Hauptfahrwasser definiert oder der 500 m-Radius verwendet (siehe Wärmelastplan Jade, Arbeitsgemeinschaft IFEU, ARSU und IMP, 2009).

Die jeweiligen Grenzwerte aus den drei genannten Lastplänen sind in Tab. 37 zusammengefasst. Ergänzend zu den Grenzwerten wurde in den Lastplänen festgelegt, wie die betreffenden Temperaturen und Temperaturdifferenzen gemessen werden sollen:

- Zeitliches Mittel: z. B. gleitendes sechs Stunden-Mittel
- Räumliches Mittel: z. B. tiefengemittelte Temperatur
- Zeitlicher Geltungsbereich: z. B. in 98 % aller regelmäßigen Messungen
- Räumlicher Geltungsbereich: z. B. in 99 % des betrachteten Gesamtgebietes
- Referenztemperatur (ohne Wärmebelastung), um Temperaturerhöhungen in der Mischungszone zu bestimmen

Diese Punkte werden in Kapitel 7 diskutiert.

Tab. 37: Grenzwerte für Wärmeeinleitungen in Jadebusen, Weser und Elbe: Angegeben sind Grenzwerte für Jahresvolumen sowie Temperaturerhöhung und maximale Temperatur in der Mischungszone.

Kriterium	Jade-Wasserkörper	Weser	Elbe
Literatur	Arbeitsgemeinschaft IFEU, ARSU und IMP (2009)	Wärmelastplan Weser (1974)	Wärmelastplan Tideelbe (2008)
Temperaturerhöhung in der Mischungszone	< 1,5 K in > = 99 % der Fläche	Unterweser nicht tidebeeinflusst: 3 K, Tideweser: 2 K	< 3 K (1,5 K für Salmoniden-Region), für kleine Kraftwerke (< 250 MW) < 6 (Sommer) bzw. 7,5 K (Winter)
Temperatur an der Einleitungsstelle			Kleine und große Kraftwerke: max. 30 °C, ΔT 6 K (Sommer), 7,5 K (Winter) Große Kraftwerke: max. 1/3 des Querschnitts
Temperatur in der Mischungszone	24 °C (wird noch diskutiert)	26 °C im Tidebereich und 28 °C oberhalb des Tidebereichs	< 28 °C und 3 K für große Kraftwerke,
Bemerkung			Temperaturgrenzwerte dürfen maximal in 2 % der betrachteten Fälle zeitlich überschritten werden. Die Orientierungswerte ... sollen am jeweiligen Ort der Beurteilung über die gesamte tideabhängige Wassertiefe als gleitende 6-Stunden-Mittelwerte eingehalten werden.

6.3 Internationale Bewertungsansätze und Grenzwerte

Bisher gibt es keine einheitlichen internationalen Temperaturstandards, auch nicht innerhalb der EU. Tab. 38 bis Tab. 40 geben die Grenzwerte im internationalen Vergleich für Süßwasser und den marinen Bereich wieder, sowie die Grenzwerte einiger EU Richtlinien. Diese Auflistung soll nur einen generellen Überblick geben, denn es ist schwierig diese Angaben ohne den gesamten Kontext direkt zu vergleichen. Für das Süßwasser wird mit Ausnahme von Neuseeland für alle wärmer temperierten Gewässer (Cypriniden-Region) ein Maximalwert von 28 °C angegeben und eine Temperaturdifferenz von 3 bis 5 K. Für die kälter temperierten Gewässer wird entweder ein Maximalwert von 21,5 °C oder 25 °C und einem K-Wert von 1,5 bis 3 angegeben. Deutschland hat immer die höheren (milderer) Grenzwerte im Süßwasser und keine Standards für den marinen Bereich (Tab. 38).

Für die Übergangsgewässer hat Deutschland die Grenzwerte übertragen, die für die Cypriniden-Region bestimmt wurden. Da im Ästuar aber sowohl kalt- als auch warmwasserliebende Arten gemeinsam vorkommen sind die Grenzwerte von 28 °C und 5 K wesentlich zu hoch. Ästuar sollten daher eher als Kaltwassertyp eingestuft werden, wie es auch Turnpenny und Liney 2007 vorschlagen. Auch Otto und Zahn (2008), die in einer Literaturstudie die Temperaturtoleranz ausgewählter Wanderfischarten der Elbe zusammengestellt haben, folgen diesem Vorschlag. Gemäß WRRL schlagen Turnpenny und Liney (2007) für das Ästuar (Kaltwasser) folgende Grenzwerte vor: Hoher Status bis 20 °C, guter Status bis 23 °C, moderater Status bis 28 °C, schlechter Status bis 30 °C, darüber > 30 °C mangelhafter Status.

Tab. 38: Zusammenfassung von thermischen Standards für Kühlwasserabgabe in anderen Ländern im Süßwasser. Q= Quelle; 1= Turnpenny & Liney 2007; 2= Wärmelastplan Elbe 2008; 3= BEEMS 2011.

Nation	Einleitungsstelle Kühlwasser Temperatur [°C] oder ΔT [K]	Grenze der Mischungszone	Kommentar	Q
	Kühlwasser Temperatur °C oder ΔT	ΔT gegenüber umgebendes Wasser am Rade der ‚Mischungszone‘ °C		
EU Fisch- gew. RL		Cyprinidengew.: $\leq 3K$; Maximal ≤ 28 °C; Salmonidengew.: $\leq 1,5K$; Maximal $\leq 21,5$ °C	Die EU-Richtlinie für Fischgewässer (78/659/EWG) sieht Regelungen für Aufwärmspannen und Laichzeit-Temperaturen vor.	
EU Süß- wasser RL		Cyprinidengew.: $\leq 3 K$ Salmonidengew.: $\leq 1,5 K$ Maximal ≤ 28 °C;	Sauerstoff: Darf max in 2 % der Fälle überschritten werden, O ₂ Konz. verpflichtend: Salmonidengew: 50 % der Messwerte $\geq 9\text{mg O}_2/\text{l}$. Cyprinidengew: 50 % der Messwerte $\geq 7\text{ mg O}_2/\text{l}$. O ₂ Konz. Zielwerte: Salmonidengew: 100 % der Mess-werte $\geq 7\text{ mg O}_2/\text{l}$, 50 % der Mess-werte $\geq 9\text{m O}_2/\text{l}$. Cyprinidengew: 100 % der Messwerte $\geq 5\text{mg O}_2/\text{l}$, 50% der Messwerte $\geq 8\text{mg O}_2/\text{l}$	2
EU Muschel RL		$\leq 2 K$		
AU		Salmonidengew.: $\leq 1,5 K$; Max 21,5 °C Max 10 °C Fortpflanzungszeit Cyprinidengew.: $\leq 3 K$; Max 28 °C Max 10 °C Fortpflanzungszeit		1
CH		Salmonidengew. $\leq 1,5 K$ Für alle anderen Gewässer $\leq 3 K$ Maximal ≤ 25 °C	KW Betreiber müssen Temperaturen kontrollieren und den Behörden jährlich mitteilen. Maximum von 25 °C ist in Diskussion, da sie als zu hoch für Salmoniden angesehen werden.	1
D (KW $\geq 250\text{MW}$)	Max ≤ 30 °C; ΔT: \leq 6,0(Sommer) $\leq 7,5$ (Winter)	$\leq 3K$ Abweichung von Umgebungstemperatur. bis max. 28 °C	Sauerstoff: Große Flüsse O ₂ 6 mg/l, mind. 3 mg/l, für Übergangsgewässer KEINE gesonderten Werte	2
D (KW \leq	Max ≤ 30 ;	Betriebe <250MW bzw. <125 im Bereich Norder- u. Süderelbe: ganzjährig O ₂ $\geq 6\text{ mg/l}$,		2



Nation	Einleitungsstelle Kühlwasser Temperatur [°C] oder ΔT [K]	Grenze der Mischungszone	Kommentar	Q
250MW)	ΔT : $\leq 6,0$ (Sommer) und $\leq 7,5$ (Winter)	bzw. Mindestsättigung 80%, für Übergangsgewässer KEINE gesonderten Werte		
DK		Richtet sich nach Süßwasser RL		
Fi		Richtet sich nach Süßwasser RL		
NL	≤ 30 ; ΔT : ≤ 7 (Sommer) ≤ 15 (Winter)	$\leq 3K$ Abweichung von Umgebungstemp ≤ 28 Muschelgewässer: ΔT : 2 °C, Maximum 25 °C. Salmonidengew.: ΔT : 1,5 °C, Maximum 21,5 °C. Cyprinidengew.: ΔT : 3K, Maximum 28 °C		1

Es gibt bisher nicht viele Länder, die für die Küstenregion Grenzwerte für die Temperaturerhöhung festgelegt haben: ΔT von 1 K wird von Dänemark, Kanada, Norwegen, Spanien (3 K an der Wasseroberfläche) und Südafrika angegeben und die Niederlande geben ein ΔT von 2 K an, wobei die Temperatur von 25 °C nicht überschritten werden darf (Tab. 39).

Tab. 39: Zusammenfassung von thermischen Standards für Kühlwasserabgabe in anderen Ländern im Salzwasser.

Nation	Grenze der Mischungszone Kühlwasser Temperatur [°C] oder ΔT [K]	Kommentar	Q
Muschel RL	≤ 2 K		
NL Muschelgew.	≤ 2 K Abweichung von Umgebungstemp. bis Max 25 °C	Kurzzeitige Erhöhung ist in besonders warmen Perioden (Juli und August) für nicht mehr als 1 Woche erlaubt	3
D	≤ 30 °C; $\Delta T \leq 10$ K,	für neue Kraftwerke $\Delta T \leq 7$ °C 60% O ₂ Sätt.	3
DK	$\Delta T \leq 1$		3
ES Baskl.	50 m von der Einleitstelle in 1m Tiefe ΔT ≤ 3 K, oder über die Wassersäule integr. $\Delta T \leq 1$ K		3
F	die Standards variieren von Kraftwerk zu Kraftwerk: im Gironde Ästuar $\Delta T \leq 11$ K, maximale Einleitungstemperatur 30 °C, saisonale Variationen sind erlaubt, im Sommer bis 36,5 °C.		3
Kanada	$\Delta T \leq 1$ K		3
N	$\Delta T \leq 1$ K und an Einleitungsstelle: $\Delta T \leq$ 10 K	Ausnahmen außerhalb der Mischungszone bis max 3 °C	3
S		Keine nationalen Temp. Grenzwerte. In der Genehmigung ist erlaubte Kühlwassertemp. angegeben.	1; 3
Süd-Afrika	$\Delta T \leq 1$ K		3

Tab. 40: Zusammenfassung der internationalen Oberflächenwasser Temperaturstandards, aus Turnpenny & Liney 2007

Nation	Kaltwasserarten			Warmwasserarten		Salzwasser	Kommentar
	Laichtem- peratur [°C]	Max Wasser Temp. [°C]	Max erlaubte Temp. Veränderung [K]	Max Wasser Temp. [°C]	Max erlaubte Temp.- Veränderung [K]		
USA	13 °C Salmoniden	16 °C juvenile Salmoniden	-	-	-	-	Nationale RL, werden von den Bundesländern als Basis genommen
Canada	Keine absoluten Werte in nat. Richtlinien, nur eine Richtlinie zu Ableiten der Grenzwerte					+1 K über Normal- Temperatur	Nationale RL, werden von den Bundesländern als Basis genommen
Süd-	-	-	-	-	-	+1 K über	



Nation	Kaltwasserarten			Warmwasserarten		Salzwasser	Kommentar
	Laichtemperatur [°C]	Max Wasser Temp. [°C]	Max erlaubte Temp. Veränderung [K]	Max Wasser Temp. [°C]	Max erlaubte Temp.-Veränderung [K]		
Afrika						Normal-Temperatur	
Neuseeland	+3 °C über Normal-Temperatur	25	3	25	3		
AU	10	21,5	1,5	28	3		Basierend auf Süßw. RL
B	10	21,5	1,5	28	3		
CH	-	25	1,5	25	3	-	
D	-	28	3	28	3	-	
DK	10	25	3	28	5	+1 K max Anstieg am Rand der Mischungszone	AGA , allg. Güteverordn. f Fließgew.
ES Baskenland						+3 °C in 1m Tiefe, +1 °C in Wassersäule	
FI	10	21,5	1,5	28	3		Basierend auf Süßw.RL
N						+1 K max Anstieg am Rand der Mischungszone	
NL	-	21,5	1,5	28	3	25 °C max, +2 K Anstieg	
S	-	-	-	-	-	-	-

7 Bewertungskriterien

Durch Wärmeeinleitungen wird eine signifikante Menge an thermischer Energie in Küsten- und Übergangsgewässer eingetragen. Außerhalb der Mischungszone treten Temperaturerhöhungen von maximal 2-3 K auf, die im Bereich der natürlichen Temperaturschwankungen liegen. Innerhalb der Mischungszone kann ein deutlicher Temperaturanstieg bis maximal 1 K jedoch nicht verhindert werden.

Für die Bewertung von Wärmeeinträgen in Gewässer wird im Folgenden ein Vorschlag gemacht, der folgende Merkmale berücksichtigt:

1. Temperaturgrenzwerte (Kapitel 7.1):

Gültigkeitsbereich und Messorte:

Im Zusammenhang mit der Festlegung von Temperatur-Grenzwerten ist zunächst eine exakte Definition des räumlichen Gültigkeitsbereiches notwendig. In der Regel werden die Grenzwerte für den Rand der so genannten Mischungszone festgelegt.

Maximale absolute Temperatur:

Eine bestimmte Wassertemperatur darf nicht überschritten werden. Dies ist saisonal festzulegen.

Maximale Temperaturerhöhung (ΔT):

Die Aufwärmspanne im Gewässer durch das eingeleitete Kühlwasser gegenüber der von der Abwärme unbeeinflussten Gewässertemperatur darf einen bestimmten Grenzwert nicht überschreiten.

2. Barrierefreiheit / Durchgängigkeit für wandernde Fische:

Fließgewässer und Meeresbuchten müssen für Fische zum Zwecke der Laichwanderungen auf ihrer gesamten Länge passierbar sein. Es dürfen keine Temperaturbarrieren entstehen.

Für die Zwecke der Bewertung müssen folglich Grenzwerte für die maximale absolute Temperatur und die maximale Temperaturerhöhung und eine Definition für Temperaturbarrieren festgelegt werden.

7.1 Temperaturgrenzwerte

Als Ort für die Bestimmung der Temperaturgrenzwerte wird im Folgenden diejenige Temperatur betrachtet, die am Rand der Mischungszone einer Abwärmeeinleitung auftritt. Dabei wird für die Mischungszone in Anlehnung an die Wärmelastpläne der Jade, Weser und Elbe und an Hirschhäuser (pers. Mitteilung zitiert in IFEU 2009), folgende Definition gewählt:

„Als Mischungszone wird der Gewässerbereich bezeichnet, der sich innerhalb eines Radius von maximal 500 m um die Einleitungsquelle herum befindet. Falls diese Zone bis zur Fahrrinne reicht, so stellt der Fahrrinnenrand an dieser Stelle die Grenze der Mischungszone dar. Die Wahl des Ortes muss dem Umstand Rechnung tragen, dass sich in Tidegewässern die räumliche Ausdehnung der Mischungszone in Abhängigkeit der Tidephase verändert.“

Um zu überprüfen, ob die Grenzwerte für die zulässige Temperaturerhöhung (ΔT) und die absolute maximale Temperatur überschritten werden, müssen die Wassertemperaturen am Rand der Mischungszone sowie die betreffende Referenztemperatur im von der Abwärme unbeeinträchtigten Gewässer bestimmt werden. Für diese Messungen sind folgende Charakteristika festzulegen:

- Messorte für die Temperaturmessungen zur Bestimmung der Wassertemperatur im Bereich des Einleiters sowie für die Referenztemperatur,
- Messhäufigkeit zur Bestimmung beider Temperaturen und
- Mittelwertbildungen.

7.1.1 Mischungszone

Die allgemein verwendete Definition der Mischungszone geht aus pragmatischen Gründen von einem stationären Bereich mit dem Radius 500 m (Durchmesser 1 km) aus. Das obige Beispiel vom KKW (Abb. 39) zeigt allerdings, dass Temperaturmaxima an der Wasseroberfläche auch einige Kilometer entfernt von der Einleitung auftreten können, so dass die Erfassung des Temperaturmaximums an einem festen Ort in der Nähe des Einleiters nur zu einer bestimmten Tidephase möglich ist. Hieraus lässt sich die Schlussfolgerung ziehen, dass zur Erfassung der maximal auftretenden Wassertemperaturen für das Monitoring eine zeitliche Auflösung von ≥ 24 Stunden nicht ausreichend ist und daher wird eine kontinuierliche Erfassung der Wassertemperatur vorgeschlagen.

Zudem scheint es notwendig, die Wassertemperatur in verschiedenen Tiefen zu messen, um das vom Boden an die Oberfläche strömende warme Wasser in jedem Fall zu erfassen.

Für den Bereich innerhalb der Mischungszone gelten besondere Grenzwerte, so z. B. in der Elbe nach dem Wärmelastplan Elbe (2008):

"Erlaubt sind innerhalb der Mischungszone Wassertemperaturen von 30 °C, eine kühlwasserbedingte Erwärmung von ΔT 6,0 K (Sommer) und ΔT 7,5 K (Winterbetrieb)."

Da sich diese Angaben auf die Erlaubnis einer Einleitungsquelle beziehen, werden sie für das im Folgenden beschriebene Konzept zur Bewertung der Wärmeeinträge nicht berücksichtigt.

Jedoch führt der Lastplan weiter aus:

"Einzuhalten sind die Werte als gleitendes 6-Stunden-Mittel mit einer maximal zulässigen jährlichen Überschreitungsdauer von 2%. Allerdings darf dieser Bereich maximal 1/3 des Gewässerquerschnittes ausmachen."

Diese Vorschläge werden übernommen.

Um die tidenbedingte Variabilität in der Position und Tiefe von Wärmefahnen zu berücksichtigen, ist eine kontinuierliche Erfassung der Wassertemperatur am Rand der Mischungszone notwendig, und zwar in mehreren Wassertiefen.

Sollte keine kontinuierliche Messung erfolgen, so ist über ergänzende Messungen, z. B. Längsprofile, Querschnitts-Messungen und FE die Lage und Ausdehnung der Wärmefahne sowie des 3K-Bereichs zu erfassen (siehe Praxistest in Kapitel 9).

Für die Bewertung werden die maximalen gleitenden 6-Stunden-Mittel eines Tages betrachtet. Um eine Überschreitungsdauer von 2 % zu tolerieren, wird das 98te Perzentil mit dem Grenzwert verglichen.

Für zukünftige Genehmigungen von Wärmeeinträgen scheint es sinnvoll, die Genehmigung mit einer Verpflichtung zur Erfassung der Mischtemperatur zu verbinden. Derzeit liegen für die niedersächsischen Gewässer keine kontinuierlichen Messungen der Mischtemperatur vor.

7.1.2 Absolutes Temperaturmaximum

Sowohl für den Sommer, als auch für den Winter muss ein absoluter Grenzwert für die maximale Temperatur festgelegt werden. Zu hohe Temperaturen im Sommer können zur Letalität bzw. zu Stress von adulten Kaltwasserarten und zu hohe Temperaturen im Winter können u. a. die Reproduktion von Arten beeinträchtigen (s. o. Kap.5). Bei der Ableitung eines Temperaturgrenzwertes muss auch beachtet werden, dass die Organismen lange bevor sie durch zu hohe Temperaturen absterben, in vielfältiger Weise geschädigt werden können und gestresste Organismen u. a. anfälliger für Krankheiten sind (s. o. Kap. 5).

Sollte es Hinweise geben, dass sich die Artenzusammensetzung aufgrund von langfristigen Klimaänderungen temperaturbedingt geändert hat, so sind die Grenzwerte entsprechend anzupassen. Wenn sich das Artenspektrum z. B. zu wärmeliebenden und damit wärmetoleranteren Arten verschiebt, so sind entsprechend höhere Grenzwerte zu wählen.

Sommergrenzwert

Die Temperaturgrenzwerte der Ästuare wie die Tideelbe orientieren sich an der EG-Süßwasserschutzrichtlinie (2006/44/EG) (Wärmelastplan Elbe 2008), so dass ein oberer Richtwert von 28 °C gilt. Für die deutschen Küstengewässer gibt es noch keine Grenzwerte. Im Ästuar und auch in den Küstengewässern sind sowohl Warmwasser- und Kaltwasserarten zu finden, und daher schlagen Turnpenny und Liney (2007) vor, diese Gewässer als Kaltwassergewässer einzustufen. Die Grenzwerte sollten auf den Ansprüchen der Kaltwasserarten basieren, da sie natürlicherweise empfindlicher gegenüber Temperaturerhöhungen sind als die Warmwasserarten.

In Anlehnung an die von Turnpenny und Liney (2007) empfohlenen Grenzwerte (Tab. 36) und auf Grundlage dieser Studie (siehe vor allem Abb. 26 und Tab. 16) bestätigen wir den von Otto und Zahn (2008) vorgeschlagenen Sommergrenzwert von 25 °C und sehen ihn als geeignet an für die Bewertung von Wärmeeinträgen in die niedersächsischen Übergangsgewässer. Bis zu 25°C wurden natürlicherweise in der Weser und Elbe gemessen (Abb. 25 D und E). Für die Küstengewässer schlagen wir auf Grundlage der Temperaturmessungen einen Grenzwert von 23°C vor, der den maximal gemessenen natürlichen Temperaturwert darstellt (Abb. 25 A und B)

Wintergrenzwert

Der winterliche (Januar bis März) Grenzwert von 10 °C wird in der Fischgewässerrichtlinie 2006 (RL 2006/44/EG) für die Laichzeit für solche Arten angegeben, die für ihre Fortpflanzung kaltes Wasser benötigen. Turnpenny und Liney (2007) folgern auf Grundlage eines Reviews über Laichtemperaturen von Arten in UK, dass der Grenzwert von 10 °C ausreichend ist, die Laichgeschäfte von Kaltwasserarten zu schützen. Die Temperaturgrenzwerte dürfen nach der RL jedoch in 2 % der Fälle überschritten werden, das entspricht einer Woche pro Jahr. Als Messhäufigkeit schreibt die RL wöchentliche Messungen oberhalb und unterhalb der Wärmeeinleitungsstelle vor. Auch Otto und Zahn (2008) empfehlen den 10 °C Grenzwert für den Winter und eine maximale Aufwärmspanne von 3 K unterhalb der Wärmeeinleitungsstelle.

Wie bereits oben ausgeführt empfehlen wir kontinuierliche Temperaturmessungen.

Auf Grundlage dieser Studie bestätigen wir den vorgeschlagenen Wintergrenzwerte für die Bewertung von anthropogenen Wärmeeinleitungen (siehe Abb. 25) in die niedersächsischen Küsten- und Übergangsgewässer. Die Darstellungen der Temperaturkurven der Übergangs- und Küstengewässer (Abb. 24 und Abb. 25) zeigen die natürliche Variabilität der jährlichen Temperaturschwankungen. Sowohl die maximalen Sommer- als auch die Wintertemperaturen übersteigen diese Grenzwerte nur vereinzelt in besonders warmen Jahren (siehe außerdem Tab. 17).

Otto und Zahn (2008) haben die Temperaturtoleranzen ausgewählter Wanderfischarten in der Elbe untersucht und kommen zu dem Schluss, dass für den Elbeabschnitt zwischen Geesthacht und Cuxhaven - in Abwägung der hier vorkommenden Fischarten mit ihren artspezifischen Temperaturgrenzen und den Erfordernissen der Fischgewässerrichtlinie (Richtlinie 2006/44/EG) - ein oberer Richtwert von 25 °C verwendet werden sollte.

Um in besonders warmen Jahren eine natürlich bedingte Überschreitung der Grenzwerte zu tolerieren, darf die Überschreitung nur dann als solche bewertet werden, wenn gleichzeitig eine Temperaturerhöhung von mindestens 1 K im Vergleich zur Referenzstation festgestellt werden kann.

Als Grenzwerte für die maximale absolute Temperatur werden die in Tab. 41 angegebenen Temperaturen und Temperaturdifferenzen festgelegt.

Im Falle einer Überschreitung muss gleichzeitig eine Temperaturerhöhung von mindestens 1 K im Vergleich zur Referenzstation nachgewiesen werden, um natürliche bedingte Überschreitungen der Grenzwerte zu erkennen und auszuschließen.

Tab. 41: Vorschlag für Grenzwerte der maximalen absoluten Wassertemperatur am Rand der Mischungszone. Die Wertebereiche verstehen sich ausschließlich der angegebenen oberen Grenze.

Gewässer	Zustandsklasse				
	sehr gut	gut	mäßig	unbefriedigend	schlecht
Sommer: maximal erlaubte Temperatur (Juli-August)					
Küste und Mündungsgebiete	< 23 °C und keine messbare Erhöhung	< 23 °C oder Temperatur- erhöhung < 1 K	23 bis 28 °C und Temperatur- erhöhung > 1K	28 bis 30 °C	≥ 30 °C
Übergangsgew. ohne Mündungsgebiete	Keine messbare Erhöhung	< 25 °C oder Temperatur- erhöhung < 1 K	25 bis 28 °C und Temperatur- erhöhung > 1K	28 bis 30 °C	≥ 30 °C
Winter: maximal erlaubte Temperatur (Januar-März)					
Küsten- und Übergangsgewässer	Keine messbare Erhöhung	< 10 °C oder Temperatur- erhöhung < 1 K		≥ 10 °C	

7.1.3 Maximale Temperaturerhöhung (ΔT)

Simulationsrechnungen in der Elbe im Bereich des geplanten Kraftwerks Stade ergaben, dass außerhalb der Mischungszone Erhöhungen um maximal 1,5 K auftreten und Erhöhungen über 3 K nur direkt um die Einleitungsstelle gemessen werden können (DHI-WASY 2011; DHI/WASY 2010). Da jedoch die von der Wärmefahne mit > 0,5 K beeinflusste Länge des Flusses ca. 50 km ausmachen kann, wie die Auswertung der Längsprofile der Weser am Kraftwerk KKW und auch die Simulationsergebnisse von (DHI/WASY 2010) für die Elbe ergaben, müssen mögliche additive Effekte durch die Vermischung mehrerer Wärmefahnen berücksichtigt werden. Sollten die in der Elbe geplanten Kraftwerke gebaut werden, wird es zu einer Überlagerung der Wärmefahnen kommen. Außerdem wird es in diesem Fall schwierig sein, Stationen zu finden, an denen sich die Temperatur für den von Wärme unbeeinflussten Zustand (Referenztemperatur) bestimmen lässt (s. u. Bestimmung des Messortes).

Otto und Zahn (2008) empfehlen eine maximale Temperaturerhöhung unterhalb der Abwärme-Einleitungsstelle von 3 K gegenüber der nicht beeinträchtigten Gewässertemperatur als akzeptabel anzusehen ist, solange 25 °C nicht überschritten werden.

In Anlehnung an die dargestellten Ergebnisse und basierend auf den Auswertungen in dieser Studie wird für die Küstengewässer eine maximale Aufwärmspanne von 3 K am Rand der Mischungszone empfohlen. Dabei wird davon ausgegangen, dass sich durch die Lage am Meer mit der starken Tidebewegung die

Kühlwasserfahne schnell verdünnt. Auch natürlicherweise kommt es in diesen Gewässern zu kurzfristigen zeitlichen Temperaturschwankungen: z. B. schwanken in der Jade die Temperaturen jahreszeitlich ($\Delta T \approx 17\text{K}$), Tag-Nacht ($\Delta T \approx 2\text{K}$) und tidebeeinflusst ($\Delta T \approx 0,5\text{K}$) (Schüttrumpf und Rahlf 2006), so dass man davon ausgehen kann, dass die hier vorkommenden Arten an die Temperaturschwankungen in dieser Größenordnung angepasst sind.

Aufgrund der Auswertungen dieser Studie wird als Grenzwert für die maximale Temperaturerhöhung in Anlehnung an Turnpenny und Liney (2007) (siehe Tab. 36) ein Wert von 3 K für den guten Zustand als ausreichend angesehen, wenn der absolute Temperaturgrenzwert nicht überschritten wird.

Für eine 5stufige Bewertung werden die in Tab. 42 angegebenen Werte empfohlen.

Tab. 42: Vorschlag für die Grenzwerte zur Bewertung der maximalen Temperaturerhöhung. Die Wertebereiche verstehen sich ausschließlich der angegebenen oberen Grenze.

Gewässer	Zustandsklasse				
	sehr gut	gut	mäßig	unbefriedigend	schlecht
Kaltwasser, Maximal erlaubte Temperatur- erhöhung	0 K	> 0 und < 3 K	3 – 4 K	4 – 5 K	≥ 5 K

7.1.4 Messorte

Messort für die maximale absolute Temperatur beim Einleiter

Die Bestimmung der absoluten Temperatur und der Aufwärmtemperatur sollte wie oben ausgeführt, am Rand der Mischungszone der Kühlwasserfahne durchgeführt werden. Es muss dabei berücksichtigt werden, dass sich die Lage der Mischungszone in Abhängigkeit der Tidephase verändert, d. h. dass sich entweder die Position der Messstelle verändern muss und man an mehreren Positionen Messungen durchführen muss oder man immer zu einer bestimmten Tidephase am gleichen Ort misst.

Aus praktischen Gründen (permanente Temperaturaufzeichnungen durch automatische Messsonden) wird die Methode präferiert, bei der die Messungen immer am selben Ort und zu einer bestimmten Tidephase durchgeführt werden. Der Messort sollte in tidebeeinflussten Gewässern in Ausbreitungsrichtung des erwärmten Wassers liegen, also nicht im Lee der Abwasserfahne. D. h., dass die Messungen entweder bei ablaufendem Wasser unterhalb oder bei auflaufendem Wasser oberhalb des Einleiters durchgeführt werden müssen.

Diese Notwendigkeit kann sehr gut mit den Querprofilen begründet werden, die bei Hochwasser am KKV aufgenommen wurden. Hier traten KKVseitig keine Temperaturerhöhungen auf, da die Messungen unterhalb des KKV erfolgten und das erwärmte Wasser flussaufwärts geströmt war (siehe Abb. 8, Lage der Stationen für die Querprofile, sowie Abb. 32 und Abb. 33, Querprofilmessungen zu Hochwasser).

Messort für die Referenztemperatur

Die Referenztemperatur, die zur Bestimmung des von Abwärme unbeeinflussten Wassers dient, sollte in der Nähe des Wärmeeinleiters liegen, um mögliche geographische Unterschiede bei der Temperatur

auszuschließen. Allerdings muss auch gegeben sein, dass der Standort von dem Wärmeabwasser unbeeinflusst ist. Aus den Ergebnissen der Fernerkundung und den Temperaturmessungen der Querprofile in der Weser lässt sich ableiten, dass sich bei Hoch- bzw. Niedrigwasser relativ schmale lange Wärmefahnen parallel zum Flussufer auf der Seite der Einleitstelle ausbilden, so dass die gegenüberliegende Seite des Flusses i. d. R. von der Wärmefahne unbeeinträchtigt ist. Daher sollte die Referenztemperatur auf der gegenüberliegenden Flusseite der Wärmeeinleitung bestimmt werden und zwar zur Hoch- oder Niedrigwasserzeit, zu denen die Erhöhung am stärksten ist. Die Auswertung der Längsprofile und der Fernerkundungsdaten haben ergeben, dass sich in der Weser am KKW die Wärmefahne bis zu mehrere Kilometer in beide Richtungen ausdehnen kann (siehe z. B. Abb. 47 und Abb. 38). Daher sollte man die Referenztemperatur, um sicherzustellen, dass man nicht z. B. bei besonderen Wind- und Strömungsverhältnissen die Wärmefahne des Kraftwerks misst, in einer Entfernung von > 4 km oberhalb der Einleitung bestimmen, wogegen die Wassertemperatur am Einleiter unterhalb des Einleiters zu messen ist.

Bei der Bestimmung des Messortes zur Bestimmung der Referenztemperatur müssen auch die Wärmeeinleitungen anderer Einleiter berücksichtigt werden. Es sollte ein Ort gewählt werden, der möglichst unbeeinflusst von jeglicher Wärmeeinleitung ist.

Der **Messort für absolute Temperatur** sollte am Rand der Mischungszone (in der Regel in 500 m Entfernung vom Einleiter) und unterhalb der Einleitungsstelle positioniert sein. Dabei haben die Messungen bei Niedrigwasser zu erfolgen.

Der **Messort für die Referenztemperatur** sollte auf der anderen Uferseite gelegen sein und sich wenige Kilometer oberhalb des Einleiters befinden, um zu vermeiden, dass die Messung von der Wärmefahne beeinflusst wird. Er sollte auch vergleichbare hydrografische Bedingungen aufweisen wie der Messort am Einleiter, wie z. B. die Wassertiefe. Die Messung sollte auf keinen Fall in sehr flachen und geschützten Abschnitten liegen, in denen sich das Wasser überdurchschnittlich erwärmen bzw. abkühlen kann.

Auf die Besonderheiten bei der Festlegung der Messorte „Am Rand der Mischungszone“ wird in den Kapiteln 8.1.2 und 8.3 eingegangen.

7.1.5 Messtiefe

Die Tiefenabhängigkeit der Wassertemperatur wurde im Kapitel 4 beschrieben.

1. Ergebnisse von Temperaturmessungen im Tiefenprofil der Jade (Visscher 2003 zitiert in BAW 2007) zeigten, dass die Wärmefahne mehrere Meter dick sein kann (siehe Abb. 30).
2. In der Weser reicht die Wärmefahne in der Regel nicht bis zum Boden (siehe Abb. 49)
3. Die Ergebnisse der Simulationsrechnungen von (DHI-WASY 2011) in der Elbe haben gezeigt, dass der Wasserkörper hier so gut durchmischt ist, dass es keine großen Unterschiede zwischen den tiefengemittelten und den in Sohlhöhe bestimmten Temperaturen bestehen. Es kommt durch die Tideströmungen zu einer schnellen Durchmischung des eingeleiteten erwärmten Wassers. Man könnte daher folgern, dass es ausreichend wäre, nur in einer bestimmten Wassertiefe die Temperatur zu bestimmen.

Um in allen Fällen einen tiefengemittelten Temperaturwert zu erhalten, wird vorgeschlagen die Temperaturen in unterschiedlichen Wassertiefen, mindestens aber in Bodennähe und an der Wasseroberfläche zu bestimmen und als Ergebnis einen tiefengemittelten Wert anzugeben.

Die Simulationsergebnisse für die Elbe zeigten außerdem, dass eine Erhöhung der Wassertemperatur um 3 K in Bodennähe nur in einem Teil innerhalb der Mischungszone um die Einleitungsstelle überschritten werden (DHI-WASY 2011).

Messtiefen

Maximale absolute Temperatur

Für die Zwecke der Bewertung von Wärmeeinträgen wird empfohlen, die absolute Temperatur, die am Rand der Mischungszone gemessen wird, in mehreren Tiefen zu messen (möglichst drei, mindestens zwei), um:

1. einen tiefengemittelten Wert zu erhalten und
2. sicherzustellen, dass die Wärmefahne erfasst wird, auch wenn das Kühlwasser nicht an der Gewässeroberfläche eingeleitet wird (siehe hierzu auch Abb. 39).

Referenztemperatur

Die Messung der Referenztemperatur sollte auf dieselbe Weise erfolgen, wie die Messung zur Bestimmung der absoluten Temperatur beim Einleiter (am Rand der Mischungszone), um Vergleichbarkeit zu gewährleisten.

7.2 Durchgängigkeit von Fließgewässern und Meeresbuchten

Um die Ausbildung einer möglichen thermischen Barriere zu verhindern, die die Fische in ihrer Wanderung behindern könnte (s. o. Ableitung der maximalen Temperaturerhöhung), haben einige Länder im Sinne des Vorsorgeprinzips festgelegt, dass für den Bereich der Abwärmeeinleitung (innerhalb der Mischungszone) nur maximal 25% des Gewässerquerschnittes für 95% der Zeit von der Kühlwasserfahne beeinträchtigt werden darf. 5% der Zeit (72 Minuten pro Tag) darf die Ausdehnung der Kühlwasserfahne größer sein, womit dem Umstand Rechnung getragen wird, dass sich im Ästuar während der Stauwasserzeit die Kühlwasserfahne unkontrolliert hin und her bewegt. Nach den Empfehlungen des Wärmelastplans der Elbe (2008) dürfen sogar maximal 33 % des Flussquerschnittes von der Mischungszone beeinträchtigt werden.

In der Regel liegen jedoch keine räumlich 2dimensionalen Daten über die Wassertemperatur vor, d. h. Quer- und Tiefenprofil, die den gesamten Querschnitt abdecken. Aus praktischen Gründen empfiehlt sich daher eine Kombination aus zwei optionalen Methoden:

1. Der 3 K-Bereich darf an der Oberfläche nicht breiter als 45 % der Flussbreite sein.
2. Die Ausdehnung des 3 K-Bereiches darf nicht mehr als 33 % des Flussquerschnittes betragen.

Der höhere Wert bei Betrachtung der Flussbreite kompensiert den Umstand, dass sich der erwärmte Bereich in der Regel nicht bis auf den Grund ausdehnt, da die Wassertemperatur zum Boden hin in der Regel abnimmt.

Messungen der absoluten Temperatur und der Temperaturerhöhung an insgesamt zwei Messorten lassen alleine noch keinen Rückschluss auf die Durchgängigkeit des Fließgewässers zu. Hierzu sind flächenhafte Informationen oder zumindest zeitlich hochaufgelöste Querprofile im Bereich der Wärmeeinleitungen notwendig. Die Ergebnisse der FE dieser Studie liefern wertvolle Informationen über die Durchgängigkeit des Flusses, da aus den Satellitenbildern die räumliche Ausdehnung der Wärmefahne an der Gewässeroberfläche bestimmt werden kann (Abb. 50). Nimmt man jedoch an, dass insbesondere im Bereich der Wärmefahne, die Wassertemperatur mit der Tiefe abnimmt, so kann davon ausgegangen werden, dass die Ausdehnung an der Oberfläche „größer“ ist als die Ausdehnung des 3 K-Bereiches im Flussquerschnitt (siehe Abb. 53).

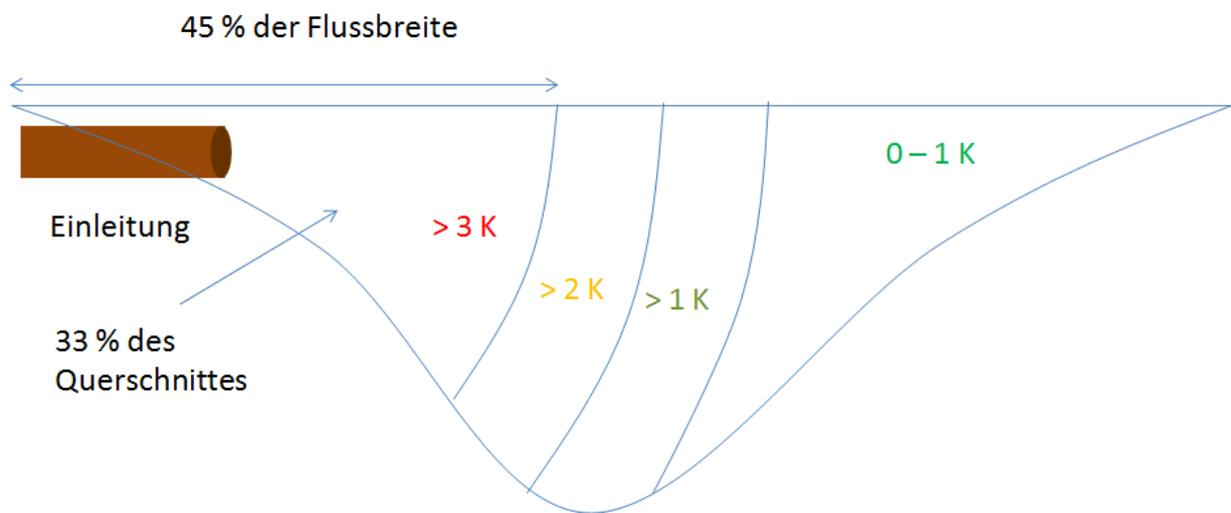


Abb. 53: Schematische Darstellung der Ausbreitung einer Wärmefahne im Flussquerschnitt. Die dargestellten Isolinien zeigen die Bereiche an, in denen ein ΔT von 1, 2 bzw. 3K überschritten wird. Idealisierte Annahme.

Für die Abschätzung der Durchgängigkeit muss die Ausdehnung von Temperaturfahnen mit einer Temperaturerhöhung von mindestens 3 K betrachtet werden. Sollten die vorliegenden Daten erkennen lassen, dass sich die Ausdehnung dieser Bereiche zu 95 % der Zeit auf weniger als 33 % des Flussquerschnittes beschränken, so ist Durchgängigkeit anzunehmen (siehe Tab. 43). Werden Satellitenbilder zur Analyse der Durchgängigkeit verwendet, so ist der Wert von 33 % aufgrund der Erfassung der Wärmefahne nur an der Oberfläche entsprechend anzupassen. Sollte sich die Wärmefahne – anders als in Abb. 53 dargestellt – in der Flussmitte, also im Bereich der Fahrrinne und damit größten Wassertiefe ausdehnen, so ist für den maximal zulässigen Anteil des 3 K-Bereiches an der Flussbreite aufgrund der überdurchschnittlichen Wassertiefe ein niedrigerer Prozentwert zu verwenden.

Sollte die Datenlage ungenügend sein, so sind weitere Messungen zur Erfassung der Ausdehnung dieser Bereiche notwendig (Längs- und Querprofile, Fernerkundung oder Modellierung). Insbesondere empfiehlt sich die Berücksichtigung von FE-Daten, um die räumliche Ausdehnung von Wärmefahnen zu bestimmen und die Ausdehnung des 3 K-Bereiches abzuschätzen. Hierzu können die räumlich hoch aufgelösten Satellitendaten verwendet werden.

Tab. 43 : Vorschlag für die Bewertung von Wärmeeinträgen in Küsten- und Übergangsgewässer im Hinblick auf die Durchgängigkeit.

Gewässer	Zustandsklasse	
	Sehr gut bis gut	Mäßig bis schlecht
Meeresbuchten und Fließgewässer	Gewässer ist durchgängig, d. h.: Wärmefahnen überschreiten 45 % der Flussbreite ¹⁸⁾ und 33 % des Flussquerschnittes nicht oder nur weniger als 5 % des Jahres	Gewässer ist nicht durchgängig, d. h.: Wärmefahnen überschreiten 45 % der Flussbreite ¹⁸⁾ oder 33 % des Flussquerschnittes in mehr als 5 % des Jahres

¹⁸⁾ Je nach der Lage der Wärmefahne im Flussbett und dem Tiefenprofil des Gewässers ist dieser Wert anzupassen.

8 Monitoring- und Bewertungskonzept

8.1 Monitoring

Die Überwachung der Einhaltung der maximalen absoluten Winter- und Sommer-Temperaturen erfordert Messungen im ersten Quartal (Jan bis März) und im Hochsommer (Juli-August), da die Grenzwerte für die absoluten Temperaturen für diese Zeiträume festgelegt worden sind (Tab. 41). Die Temperaturerhöhung (ΔT) muss über den gesamten Zeitraum überwacht werden. Die absoluten Temperaturen und die Temperaturerhöhung (ΔT) können dann mit den festgelegten Grenzwerten verglichen und bewertet werden.

Im Folgenden werden die für das Wärme-Monitoring wichtigen Charakteristika Messgrößen und Messort sowie Messzeitpunkt und –frequenz erläutert.

8.1.1 Messgrößen

Als Messgröße wird lediglich die Temperatur vorgeschlagen. In Anlehnung an die in Kapitel 7 diskutierten Kriterien und abgeleiteten Grenzwerte dieser Studie wird vorgeschlagen, dass die thermische Bewertung der Wasserkörper die absolute Temperatur des Gewässers, die Temperaturerhöhung (ΔT , Aufwärmspanne) und die Durchgängigkeit für Fische, die anhand der Ausdehnung der Temperaturerhöhung bestimmt wird, berücksichtigen soll.

Begründung (siehe Kapitel 7.1.2 und 7.1.3):

1. Verhindern von Artenverschiebungen im Ökosystem.
2. Zu hohe Temperaturen im Sommer können zu Letalität bzw. zu Stress insbesondere bei Kaltwasserarten führen und bereits bei niedrigeren Temperaturen treten subletale Effekte auf.
3. Zu hohe Temperaturen im Winter können die Reproduktion von Organismen beeinträchtigen.
4. Durchgängigkeit der Flüsse für laichwandernde Fische ist für deren Reproduktion unerlässlich.

8.1.2 Messorte

Absolute Temperatur

Die Temperaturmessungen für die Bestimmung der maximalen absoluten Temperaturen sollten am Rande der Mischungszone (i. d. R. 500 m von der Einleitung entfernt) erfolgen und zwar unterhalb des Einleiters.

Die betreffenden Standorte sind im Einzelfall auf Plausibilität zu überprüfen (z. B. durch FE). Falls eine Position nicht plausibel erscheint, sollte über FE-Daten die Variabilität der Wärmefahne an dem betreffenden Einleiter analysiert werden, um einen plausiblen Standort abzuleiten.

Begründung:

Der Messort sollte in Abhängigkeit der Tide so gewählt werden, dass er im Bereich der Kühlwasserfahne liegt, also bei auflaufendem Wasser oberhalb bzw. bei ablaufendem Wasser unterhalb der Einleitungsstelle. Um den Einfluss des mit der Tide einströmenden Wassers zu minimieren, sollte auf jeden Fall bei ablaufendem Wasser die Wassertemperatur unterhalb des Einleiters gemessen werden.

Das Beispiel KKV hat aufgezeigt, dass der Ort der maximalen Temperatur um einige Kilometer schwanken kann, in solchen Einzelfällen ist eine gesonderte Festlegung des Messortes bzw. der Messmethode festzulegen, falls keine kontinuierlichen Messungen erfolgen.

Relative Temperatur

Die Temperaturmessungen für die Bestimmung der Referenztemperatur sollten oberhalb des Einleiters, und zwar in ca. 4 km Entfernung auf der gegenüberliegenden Flussseite liegen. Der Messort sollte mit dem Messort der Wassertemperatur am Einleiter vergleichbare hydrologische Bedingungen aufweisen, z. B. in Hinblick auf Wassertiefe.

Die betreffenden Standorte sind durch FE-Daten auf Plausibilität zu überprüfen und gegebenenfalls zu korrigieren. Insbesondere eine Überlagerung mit einer Wärmefahne durch einen oberhalb des Referenzortes gelegenen Einleiters ist zu überprüfen.

Als Messwert sollte ein gleitender 6stündiger Mittelwert gemessen werden.

Begründung:

Der Messort sollte so gewählt werden, dass er möglichst nicht im Bereich der Kühlwasserfahne liegt. Aufgrund der vorliegenden Daten erscheint ein Abstand von ca. 4 km sinnvoll.

Das Beispiel KKV hat aufgezeigt, dass der Ort der maximalen Temperatur um einige Kilometer schwanken kann und daher ist in solchen Einzelfällen eine gesonderte Festlegung des Messortes bzw. der Messmethode festzulegen, insbesondere falls keine kontinuierlichen Messungen erfolgen.

8.1.3 Messtiefe

Die Temperaturmessungen sollten als tiefenintegrierte Messungen am Rand der Mischungszone durchgeführt werden. Dazu sind Messungen in mindestens drei verschiedenen Tiefen notwendig (oberflächennah, Mitte und bodennah).

Begründung:

1. Der tiefenintegrierte Wert dient dazu, die Ausdehnung einer Wärmefahne über die Tiefe zu berücksichtigen bzw. zu gewichten.
2. Mit den Messungen in Bodennähe und in der Wassersäule werden die Bedingungen für die verschiedenen Organismengruppe erfasst (insbesondere Fische und MZB).

8.1.4 Messzeitpunkt und -frequenz

Die Messhäufigkeit sollte kontinuierlich sein und die tiefengemittelten Werte sollten als 6-stündiges gleitendes Mittel gemessen werden.

Sollten keine kontinuierlichen Messungen erfolgen, so sind - wie bereits in Abschnitt 7.1.1 erwähnt - die Lage und Ausdehnung der Wärmefahne und der 3K-Bereich durch ergänzende Messungen z. B. FE zu überwachen (siehe hierzu Praxistest in Kapitel 9).

Begründung:

Kontinuierliche Messungen erlauben eine umfassende Überwachung des gesamten Zeitraumes, wobei alle Tidephasen und Tageszeiten mit den dazugehörigen Temperaturschwankungen erfasst werden.

Die Verwendung des 6stündigen Mittels minimiert den Einfluss kurzfristiger Temperaturmaxima auf die Bewertung.

8.2 Bewertungskriterien

Für die Bewertung müssen die Monitoring-Ergebnisse unter Berücksichtigung einer vorgegebenen Toleranz mit festgelegten Grenzwerten verglichen werden. Dieses Kapitel fasst die in den vorangegangenen Kapiteln abgeleiteten Toleranz- und Grenzwerte zusammen.

8.2.1 Temperaturgrenzwerte

Auf Grundlage der Vorschläge zu den absoluten Temperaturgrenzwerten und den zulässigen Temperaturerhöhungen (siehe Kapitel 7.1, Turnpenny und Liney 2007; BEEMS 2011; Otto und Zahn 2008 sowie den Auswertungen der in situ Messungen und der FE dieser Studie werden die in Tab. 41 und Tab. 42 zusammengestellten Temperaturgrenzwerte für die deutschen Übergangs- und Küstengewässer vorgeschlagen. Für die Bewertung muss sowohl die Referenztemperatur im unbeeinträchtigten Gewässerabschnitt als auch die Temperatur an der Grenze der Mischungszone, d. h. in der Nähe des größten Wärmeeinleiters (s. o.), gemessen und daraus die Aufwärmspanne berechnet werden.

Begründung:

Natürlicherweise treten in den Küstengewässern in der Regel im Sommer Temperaturen von maximal 23 °C auf und in Übergangsgewässern werden bis zu 25 °C erreicht (siehe Abb. 25), wobei die maximale Sommertemperatur flussaufwärts in der Regel ansteigt (Abb. 26). Daher werden diese beiden Werte als maximal erlaubte Temperaturen für Küsten- bzw. Übergangsgewässer festgelegt. Sie definieren damit den ‚sehr guten‘ und auch den ‚guten‘ ökologischen Zustand.

Zur Unterscheidung zwischen dem ‚sehr guten‘ und dem ‚guten‘ Zustand wird die Temperaturerhöhung am Rand der Mischungszone berücksichtigt. Im Falle des sehr guten Zustandes darf es keine messbare Temperaturerhöhung durch Wärmeeinträge geben. Nach den Ergebnissen dieser Studie können daher lediglich Gewässer ohne große Abwärmeeinleiter den ‚sehr guten‘ Zustand erreichen.

In den Übergangsgewässern dürfen flussabwärts der Abwärmeeinleitung (am Rand der Mischungszone) im Sommer 25 °C bzw. in den Küstengewässern 23 °C und im Winter (Januar bis März) 10 °C nicht überschritten werden. Außerdem darf die maximale Aufwärmspanne im Vergleich zum vom Wärmeeintrag unbeeinflussten Wasser nicht über 3 K liegen (tiefengemittelte Werte).

Um den Fall auszuschließen, dass es sich bei einer Grenzwertüberschreitung der absoluten Temperatur um eine natürliche Variabilität handelt, muss im Falle einer Überschreitung auch eine Temperaturerhöhung um mindestens 1 K nachgewiesen werden. Wenn die Referenztemperatur also auch über 25 °C liegt, führt eine Überschreitung der 25 °C-Grenzwertes nicht zwingend zur Abstufung der Zustandsklasse.

8.2.2 Durchgängigkeit

Hinweise auf die Durchgängigkeit kann aus verschiedenen Quellen abgeleitet werden:

1. Wird zu keinem Zeitpunkt an einem der zu überwachenden Einleitern eine Überschreitung des 3 K-Grenzwertes festgestellt, so dient das als Hinweis auf Durchgängigkeit.
2. Räumlich hoch aufgelöste Temperaturdaten aus der Fernerkundung bieten die Möglichkeit, die Breite von Wärmefahnen über Querprofile zu bestimmen.
3. Quer- und Tiefenprofile ermöglichen die Abschätzung der Ausdehnung von Wärmefahnen im Querschnitt.

Begründung:

Die aufgeführten Methoden ergänzen sich und die betreffenden Daten sollten entsprechend, soweit verfügbar, in die Bewertung einfließen. Keine der Methoden erscheint momentan praktikabel als alleinige

Methode, da die zeitliche Auflösung nicht ausreichend ist, um die Einhaltung der Durchgängigkeit zu mindestens 95 % der Zeit nachzuweisen.

Für jedes Gewässer ist eine ausreichende Anzahl von Satellitenbildern und/oder Querprofilen sicherzustellen, um zumindest eine einmalige Bewertung der einzelnen Einleiter zu gewährleisten. Die zeitliche Frequenz der verwendbaren Satellitenbilder ist allerdings sehr wetterabhängig.

8.2.3 Toleranz

Wie bereits in Kapitel 7.1.2 (Abschnitt Wintergrenzwert) ausgeführt, darf der winterliche Grenzwert von 10 °C gemäß Fischgewässerrichtlinie 2006 (RL 2006/44/EG) nur in 2 % der Fälle überschritten werden. Deshalb wird vorgeschlagen, für den Vergleich mit den Grenzwerten die 98ten Perzentile der kontinuierlich gemessenen Wassertemperatur zu verwenden.

Für die Einhaltung der maximalen Temperaturerhöhung ist damit eine Überschreitung an einem Tagen im Winter und ca. einem Tag im Sommer tolerierbar.

8.3 Besonderheiten in Küstengewässern und Meeresbuchten

Wie bereits ausgeführt, sind die Küstengewässer natürlicherweise im Sommer um ca. 2 °C kälter als die Fließgewässer. Daraus resultieren unterschiedliche Temperaturgrenzwerte für den Sommer.

Durch die besonderen Tidebedingungen im Küstenbereich müssen zudem die Messpositionen für die Überwachung von Wärmeeinleitungen im Einzelfall festgelegt werden. Die Messposition muss so gewählt werden, dass sie im Ebbstrom liegt (siehe Abb. 54), um die ablaufende Wärmefahne in jedem Fall zu erfassen. Dabei sind die betreffenden Priele der näheren Umgebung zu berücksichtigen.

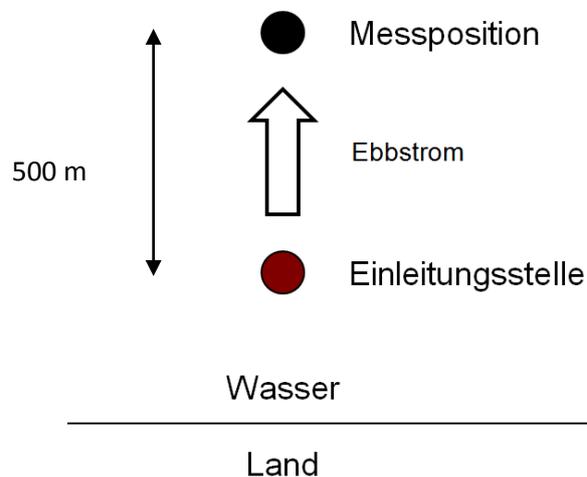


Abb. 54: Schematische Darstellung für die Festlegung von Messorten für das Monitoring von Wärmeeinleitern im Küstenbereich.

8.4 Bewertungsschema

In diesem Abschnitt sollen die für die Überwachung und Bewertung der Wasserkörper notwendigen Arbeitsschritte zusammenfassend dargestellt werden. Mit anderen Worten, beantwortet dieser Abschnitt die Frage:

„Wie kommt man mit Hilfe der Monitoringdaten von allen großen Einleitern zu einer Bewertung des gesamten Wasserkörpers?“

8.4.1 Überwachung

An dem oder den größten bekannten Wärmeeinleitern des Wasserkörpers werden zusätzlich zu dem Messpunkt für die Messung der Temperatur des eingeleiteten Wassers zwei Messpunkte festgelegt, an denen die Wassertemperatur kontinuierlich und in möglichst drei, mindestens zwei Tiefen gemessen wird (Rand der Mischungszone und Referenz-Standort, Kapitel 7.1.4 und 7.1.5). Dabei brauchen gemäß der Ergebnisse aus Tab. 15 höchstens Wärmeeinleitungen mit einer jährlichen Wärmeenergie von mehr als 5 Peta Joule berücksichtigt werden. In den Übergangsgewässern Elbe und Weser können Einleitungen in dieser Größenordnung zu einer potentiellen Temperaturerhöhung des Wasserkörpers von $> 0,1$ K beitragen.

Für den Fall, dass sich die Wärmefahne eines großen Einleiters mit derjenigen einer benachbarten Wärmequelle überlagert, ist das Monitoring auf diesen Bereich auszudehnen. Auch der Einfluss einer oberhalb gelegenen Wärmeeinleitung auf die Wassertemperatur des Referenzstandortes ist zu berücksichtigen.

8.4.2 Datenauswertung

Maximale absolute Temperatur

1. Für jedes Jahr des Bewertungszeitraumes werden die laufenden 6-Stunden-Mittelwerte am Rand der Mischungszone bestimmt.
2. Für den Winter (Jan- März) und den Sommer (Juli bis August) jeden Jahres werden aus den 6stündigen Mitteln die 98ten Perzentile berechnet.
3. Die für den Winter und Sommer erhaltenen Werte für jedes Jahr werden mit den Grenzwerten aus Tab. 41 verglichen und ergeben das Teilbewertungsergebnis 1 (siehe Tab. 44). Dabei ist zu beachten, dass eine Einstufung in einen Zustand schlechter als gut nur dann möglich ist, wenn gleichzeitig für den betreffenden Zeitpunkt eine Temperaturerhöhung von mindestens 1 K nachgewiesen werden kann.

Tab. 44: Matrix für die Ergebnisse des Teilbewertungsergebnisses 1 „Absolute (Misch-) Temperatur am Einleiter“.

Zeitraum	Jahr 1	Jahr 2	Jahr 3	Jahr 4	Jahr 5	Jahr 6
Bewertungs- ergebnis Winter						
Bewertungs- ergebnis Sommer						

Temperaturerhöhung

1. Zusätzlich zu den Messungen am Rande der Mischungszone werden für jeden Tag auch die laufenden 6-Stunden-Mittelwerte am Referenzstandort bestimmt.
2. Aus den beiden Messreihen wird für jedes 6-Stunden-Mittel die Erwärmung aus der Differenz der beiden Temperaturwerte berechnet:

$$\Delta T = T_{\text{misch}} - T_{\text{ref}}$$

Dabei bezeichnet T_{misch} die Temperatur am Rand der Mischungszone und T_{ref} die Temperatur am Referenzstandort.

3. Von den 6stündigen Mitteln für das ΔT jedes einzelnen Jahres wird das 98te Perzentil berechnet.
4. Der resultierende Wert wird mit den Grenzwerten aus Tab. 42 verglichen und ergibt das Teilbewertungsergebnis 2.

Tab. 45: Matrix für die Ergebnisse des Teilbewertungsergebnisses 2 „Temperaturerhöhung am Einleiter“.

	Jahr 1	Jahr 2	Jahr 3	Jahr 4	Jahr 5	Jahr 6
Bewertungs- ergebnis						

Durchgängigkeit

Wenn es innerhalb eines Wasserkörpers Hinweise auf unzureichende Durchgängigkeit gibt, dann führt das zu der Teilbewertung mäßig für den gesamten Wasserkörper (Teilbewertungsergebnis 3).

In der Praxis bedeutet das:

1. Fernerkundungs-Daten oder in situ gemessene Querprofile geben Hinweise darauf, ob es im Bereich eines Einleiters zur Ausbildung von Wärmefahnen mit einer Temperaturerhöhung von größer gleich 3 K kommt. Falls das der Fall ist, so darf sich diese nicht über mehr als 33 % der Flussbreite erstrecken. Falls dieser Wert überschritten wird, so ist die Durchgängigkeit nicht gegeben.
2. Ist der Fluss über 1500 Meter breit und wird der 3 K-Wert am Rand der Mischungszone nicht überschritten, so ist das ein Hinweis auf Durchgängigkeit.

8.4.3 Bewertung

Die Bewertung des Wasserkörpers basiert auf den Bewertungen der einzelnen Wärmeeinleitungen, deren Gesamtbewertung und der Bewertung der Durchgängigkeit (siehe auch Abb. 55).

Einzelne Wärmeeinleitung

Für die beiden Kriterien „absolute Temperatur“ und „Temperaturerhöhung“ sind die Ergebnisse der einzelnen Jahre (siehe Tab. 44 und Tab. 45) miteinander zu verrechnen, so dass für den Winter und Sommer jeden Jahres insgesamt zwei Ergebnisse resultieren.

Für jedes Teilbewertungsergebnis und jeden Zeitraum müssen die Werte für die einzelnen Jahre gemittelt werden. Dazu eignet sich eine Mittelwertbildung.

Für die Kriterien „absolute Temperatur im Winter“, „absolute Temperatur im Sommer“ und Temperaturerhöhung resultiert damit je ein Einzelergebnis. Das schlechteste dieser 3 Bewertungen stellt das Bewertungsergebnis des Einleiters dar.

Tab. 46: Matrix für die Gesamtbewertung eines Einleiters aufgrund der Teilbewertungen für „absolute Temperatur im Winter“, „absolute Temperatur im Sommer“ und „Temperaturerhöhung“.

Kriterium	Zustandsklasse (Mittelwert des Bewertungszeitraums)
absolute Temperatur im Sommer	[Teilbewertungsergebnis 1 (Sommer)] z. B. sehr gut
absolute Temperatur im Winter	[Teilbewertungsergebnis 1 (Winter)] z. B. sehr gut
Temperaturerhöhung	[Teilbewertungsergebnis 2] z. B. gut
Gesamtergebnis Einleiter:	[Schlechtestes Ergebnis] In diesem Beispiel: Gut

Wasserkörper

Werden in einem Wasserkörper mehrere Wärmeeinleitungen bewertet, so bestimmt das schlechteste Bewertungs-Ergebnis die Bewertung für den gesamten Wasserkörpers. Abschließend werden diese beiden Ergebnisse mit dem Bewertungsergebnis der Durchgängigkeit zusammengefasst. Letztere kann entweder nach dem Prinzip das schlechteste Ergebnis zählt (siehe Tab. 46) für jeden einzelnen Einleiter oder - wie an dieser Stelle empfohlen - für den gesamten Wasserkörper durchgeführt werden. Falls das bisherige Ergebnis sehr gut oder gut ist, die Bewertung im Hinblick auf Durchlässigkeit jedoch den mäßigen Zustand ergibt (Teilergebnis 3), so ist das Ergebnis für den gesamten Wasserkörper mäßig.

Tab. 47: Matrix für die Gesamtbewertung eines Einleiters aufgrund der Teilbewertungen für „absolute Temperatur im Winter“, „absolute Temperatur im Sommer“ und „Temperaturerhöhung“.

Kriterium	Zustandsklasse
Einleiter 1	[Bewertungsergebnis Einleiter 1]
Einleiter 2	[Bewertungsergebnis Einleiter 2]
:	:
Einleiter n	[Bewertungsergebnis Einleiter n]
Durchgängigkeit des Wasserkörpers	[Bewertungsergebnis Durchgängigkeit]
Gesamtergebnis Wasserkörper:	[Schlechtestes Ergebnis]

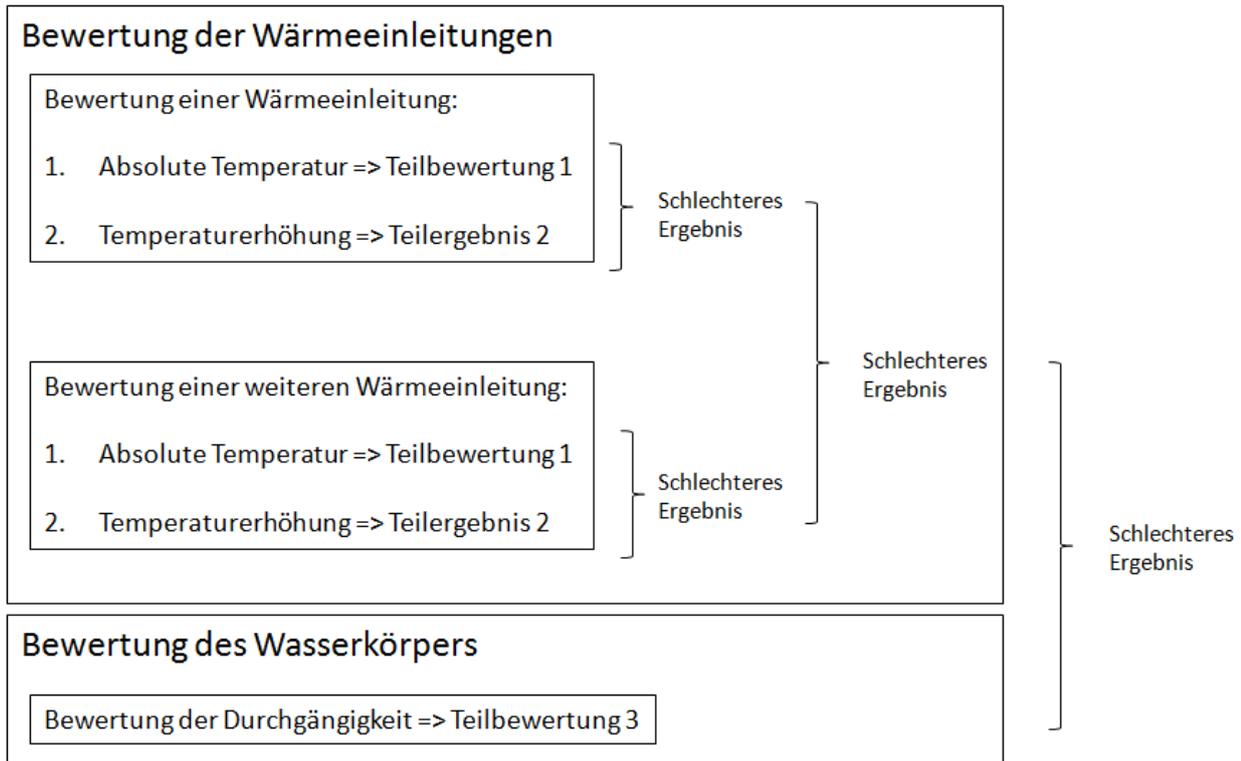


Abb. 55: Schema für die Bewertung der Wasserkörper im Hinblick auf Wärmeeinträge.

9 Test des Bewertungsverfahrens durch Anwendung auf das Untersuchungsgebiet

Abschließend soll gezeigt werden, wie mit Hilfe des vorgestellten Bewertungskonzeptes eine Bewertung der niedersächsischen Wasserkörper vorgenommen werden kann. Ziele dieses Tests sind:

1. Lücken im bisherigen Temperaturmonitoring sollen gezeigt werden.
2. Das Bewertungsverfahren soll einem Praxistest unterzogen werden.
 - a. Es soll getestet werden, ob das vorgeschlagene Verfahren praktikabel ist.
 - b. Der aktuelle Zustand in Bezug auf Wärmeeinträge soll eingeschätzt werden.

Grundlage für diese Bewertung sind Monitoring-Daten aus dem Zeitraum 2009 bis 2012.

9.1 Erfüllung der Monitoring-Anforderungen

Für das vorgeschlagene Monitoring werden kontinuierliche Messungen der Wassertemperatur am Einleiter (Rand der Mischungszone) und an einem wenige Kilometer entfernten Referenzstandort auf der gegenüber liegenden Uferseite benötigt. Tab. 48 erläutert, inwieweit diese Rahmenbedingungen für die drei großen Kraftwerke E.ON Kraftwerk Wilhelmshaven, KK-Unterweser und KKW-Brokdorf erfüllt werden. Danach fehlen bisher Angaben zu den Mischungstemperaturen direkt am Einleiter, während die Referenztemperaturen von in der Weser und Elbe nach Fehlerbestimmungen von Pegelmessungen abgeleitet werden können (Tab.48). Bei neuen Genehmigungen müssten daher die Anforderungen an die Betreiber diesbezüglich angepasst werden.

Tab. 48: Monitoring-Anforderungen für die Bewertung von Wärmeeinleitungen in den Jadebusen sowie in die Übergangsgewässer Weser und Elbe. Für die drei Kraftwerke wird der Status des Monitorings im Hinblick auf die beiden Anforderungen erläutert.

Anforderung	Jadebusen (E.ON-Kraftwerk)	Übergangsgewässers Weser (KKU)	Übergangsgewässer Elbe (KKW Brokdorf)
Kontinuierliche Messung der Wassertemperatur unterhalb des Einleiters am Rand der Mischungszone (500 m) in mehreren Tiefen.	Es liegen keine Angaben zur Mischtemperatur am E.ON-Kraftwerk Wilhelmshaven vor.	Für 2011 bis 2012 liegen für jeden Tag die Mischtemperaturen zu den beiden Kenterpunkten vor, so dass für diesen Zeitraum eine Bewertung der Wassertemperatur am Rand der Mischungszone möglich ist. Jedoch wurde das Kraftwerk am 18.3.2011 abgeschaltet, so dass nur für das erste Quartal 2011 eine Bewertung während des Kraftwerksbetriebs vorgenommen werden kann.	Es liegen keine Angaben zu den Mischtemperaturen am KKW-Brokdorf vor.
Kontinuierliche Messung wenige Kilometer oberhalb des Einleiters auf der anderen Uferseite in mehreren Tiefen.	6 km Richtung Jade liegt die Station JaBu_W1, an der allerdings nur 14tägige Messungen erfolgen. Die vom HZG betriebenen Pfähle in derselben Region wurden aus Kostengründen eingestellt. Sie konnten zudem wegen Eisgangs nicht im Winter betrieben werden.	Für das KKU könnten die Temperaturmessungen an der Position Strohauserplate-Ost verwendet werden. Im Falle von längeren Unterbrechungen an dieser Messstation kann die weiter oben liegende Pegelstation Rechtenfleth verwendet werden. Dabei ist jedoch für jeden Zeitraum ein systematischer Fehler zu bestimmen und zu berücksichtigen; dieser kann saisonal schwanken.	Die Messstation Grauerort liefert kontinuierliche Messungen, wie sie für das vorgeschlagene Konzept benötigt werden. Sie liegt jedoch ca. 20 km oberhalb des Kraftwerkes und damit als Referenzstandort zu weit weg. Sollte keine näher gelegene Station oberhalb der Einleiter existieren, so müsste der systematische Fehler bei Verwendung der Station Grauerort bestimmt werden.

9.2 Praxistest

Als Praxistest wird im Folgenden das vorgeschlagene Bewertungskonzept getestet, obwohl nicht alle dafür notwendigen Daten vorhanden waren:

1. Das Kraftwerk KK-Unterweser wird für das Jahr 2011 bewertet und
2. über Indizien wird eine Bewertung der Wasserkörper Jadebusen, Übergangsgewässer Weser und Übergangsgewässer Elbe vorgenommen.

9.2.1 Bewertung der KKV-Einleitung

Um die Praktikabilität des Bewertungsansatzes zu testen, wird die Wärmeeinleitung durch das KKV als mit Abstand größtem Einleiter des Übergangsgewässers Weser entsprechend dem vorgeschlagenen Bewertungskonzept bewertet.

Für das KKV liegen für das Jahr 2011 für jeden Tag je ein Wert zur Mischtemperatur am Kenterpunkt von Ebbe und Flut vor. Der Mittelwert aus beiden wird anstelle der benötigten gleitenden 6stündigen Mittelwerte als Tageswert verwendet.

Maximale absolute Temperatur

Die 98ten Perzentile der Mischtemperaturen in 2011 betragen für den Winter 8,6 °C und für den Sommer 20,3 °C. In beiden Fällen lautet die Teilbewertung mindestens gut. Falls keine signifikante Erhöhung festgestellt werden kann, ist der ökologische Zustand bzgl. der thermischen Situation der Weser als sehr gut einzustufen.

Tab. 49: Teilbewertungsergebnis 1 „Absolute (Misch-) Temperatur am Einleiter“ für die Wärmeeinleitung KKV.

Zeitraum	Wert	Zustandsklasse (2011)
Bewertungsergebnis Winter	8,6 °C	Sehr gut oder gut
Bewertungsergebnis Sommer	20,3 °C	Sehr gut oder gut

Temperaturerhöhung

Für die exemplarische Bewertung der Temperaturerhöhung wurden die Tagesmittel der Wassertemperaturen an der Referenzstation Strohauserplate-Ost (SPO) verwendet. Wie in Tab. 50 angegeben, liegt das 98te Perzentil unter 1 K. Jedoch werden an einem Tag 2,6 K erreicht. Doch aufgrund der Festlegung auf das 98te Perzentil < 1 K ist das Bewertungskriterium 1 (Sommer und Winter) als sehr gut einzustufen.

Tab. 50: Teilbewertungsergebnis 2 „Temperaturerhöhung am Einleiter“ für die Wärmeeinleitung KKV.

Temperaturdifferenz der Tagesmittelwerte	2011
Minimum	-0,1 K
Mittelwert	0,4 K
Maximum	2,6 K
98tes Perzentil	0,9 K

Durchgängigkeit

Da im gesamten Jahr 2011 an der Einleitungsstelle des KKU der Grenzwert von 3 K nicht überschritten wurde, ist davon auszugehen, dass die Durchgängigkeit der Weser durch das KKU nicht beeinträchtigt worden ist.

Bewertungsergebnis

Die Ergebnisse für die Wärmeeinleitung des KKU sind in Tab. 51 zusammengefasst. Da alle Teilergebnisse die Zustandsklasse gut ergaben, ist auch das Gesamtergebnis gut.

Tab. 51: Matrix für das Bewertungsergebnis der Wärmeeinleitung durch das KKU.

Bewertungs-Kriterium	Wert	Zustandsklasse
Absolute Temperatur (Winter / Sommer)	8,6 / 20,3 °C	Gut
Temperaturerhöhung	0,9 K	Gut
Durchgängigkeit	100 % durchgängig (Max. Temperaturerhöhung 2,6 K)	Sehr gut bis gut
Gesamtergebnis	-	Gut

9.2.2 Bewertung der Wasserkörper

Eine Bewertung aller Wasserkörper nach dem vorgeschlagenen Konzept ist, wie in Abschnitt 9.1 ausgeführt, aufgrund fehlender Daten nicht möglich. Insbesondere gibt es fast keine Angaben zu den Mischtemperaturen am Rand der Mischungszonen der Einleiter. Daher soll im Folgenden versucht werden, eine Bewertung der Wasserkörper über Indizien vorzunehmen.

Besonderes Augenmerk fällt dabei auf die Wasserkörper, in denen sich die drei größten Kraftwerke befinden (Tab. 52).

Tab. 52: Die drei größten Wärmeeinleiter im Bereich des niedersächsischen Küsten- und Übergangsgewässer (siehe Tab. 15).

Kraftwerk	Wärmeenergie	Potentielle Temperaturerhöhung
Küstengewässer Jadebusen (E.ON-Kraftwerk Wilhelmshaven)	30 Peta Joule	Keine Angabe
Übergangsgewässer Unterweser (KK Unterweser)	39 Peta Joule (2009-2010 75 PJ)	1,7 K
Übergangsgewässer Elbe (KKW Brokdorf)	67 Peta Joule	0,6 K

Die Wärmeeinträge durch die Kraftwerke Brokdorf und KK Unterweser haben eine ähnliche Größenordnung. Im Zeitraum 2009-2010 haben diese beiden Kraftwerke jährlich eine mittlere Wärmeenergie von 75 Peta Joule (KKU) und 72 Peta Joule (Brokdorf) in die Flüsse eingetragen. Für das E.ON-Kraftwerk im Jadebusen wurde in dieser Studie aufgrund der geringeren Kraftwerksleistung ein jährlicher Wärmeeintrag von 30 Peta Joule angenommen.

Im Folgenden werden alle Ergebnisse aus den obigen Datenanalysen zusammengefasst, die Hinweise auf die Höhe der thermischen Belastung der genannten drei Wasserkörper geben.

Abfluss und Tidevolumen

Es ist aufgrund der vorhandenen Datenlage davon auszugehen, dass die thermische Beeinträchtigung der Unterweser deutlich größer ist, als in der Unterelbe. Zum einen ist der Abfluss der Unterelbe mit ca. 824 m³/s (Tab. 10) mehr als doppelt so hoch wie in der Weser (Korrekturfaktor für Nordenham * mittlerer Abfluss in Intschede für 2008-2012 = 1,2 * 285 m³/s = 342 m³/s). Zum anderen ist das Tidevolumen der Elbe deutlich größer als das der Weser. Aufgrund dieser beiden Faktoren ist anzunehmen, dass Wärmeeinträge durch das Kraftwerk Brokdorf im Fluss schneller und stärker verdünnt werden als diejenigen durch das Kraftwerk Unterweser. Außerdem ist die Elbe bei Brokdorf mit 2500 m deutlich breiter als die Weser im Bereich des KKW mit 1200 m, so dass eine Wärmefahne derselben Größe in der Elbe eine deutlich niedrigere relative Breite im Verhältnis zur Flussbreite hat. Eine Wärmefahne kann also in der Weser eher die Durchgängigkeit für Fische verhindern als in der Elbe.

Für den Jadebusen kann wegen des deutlich geringeren Wärmeeintrages und aufgrund der Tatsache, dass das Kraftwerk direkt an der Küste liegt, ebenfalls von einer geringeren thermischen Belastung ausgegangen werden.

Setzt man die Abflüsse (ohne das Tidevolumen) bei den Einleitern der Weser und Elbe in Beziehung zu den eingetragenen Wärmemengen, so ergeben sich für die größten 16 Einleitungen potentielle Temperaturerhöhungen zwischen 0,01 und 1,7 K (siehe Tab. 15).

Wärmeeinträge

Summiert man für die niedersächsischen Küsten- und Übergangsgewässer alle Wärmeeinträge pro Wasserkörper jahresweise auf, so ergeben sich die höchsten Jahresmittelwerte für die Übergangsgewässer Elbe und Weser (Weser nur 2009 und 2010) mit jeweils 76 Peta Joule, gefolgt vom Wasserkörper DE_CW_N2_4900_01 (Jadebusen) mit 29 Peta Joule. Danach folgt mit weitem Abstand das Übergangsgewässer Ems mit 0,3 Peta Joule.

Erwähnenswert ist, dass der limnische Bereich der Unterweser zusätzlich einen mittleren jährlichen Wärmeeintrag von weiteren 35 Peta Joule hat, die durch die Kraftwerke in Bremen in die Weser eingeleitet werden. Vergleichbare Angaben für die limnische Unterelbe liegen leider nicht vor, so dass kein Vergleich mit der Weser gezogen werden kann. Jedoch ist in beiden Fällen zu beachten, dass die Wasserkörper der Übergangsgewässer durch flussaufwärts gelegene Kraftwerke bereits erheblich thermisch vorbelastet werden.

Absolute Wassertemperaturen

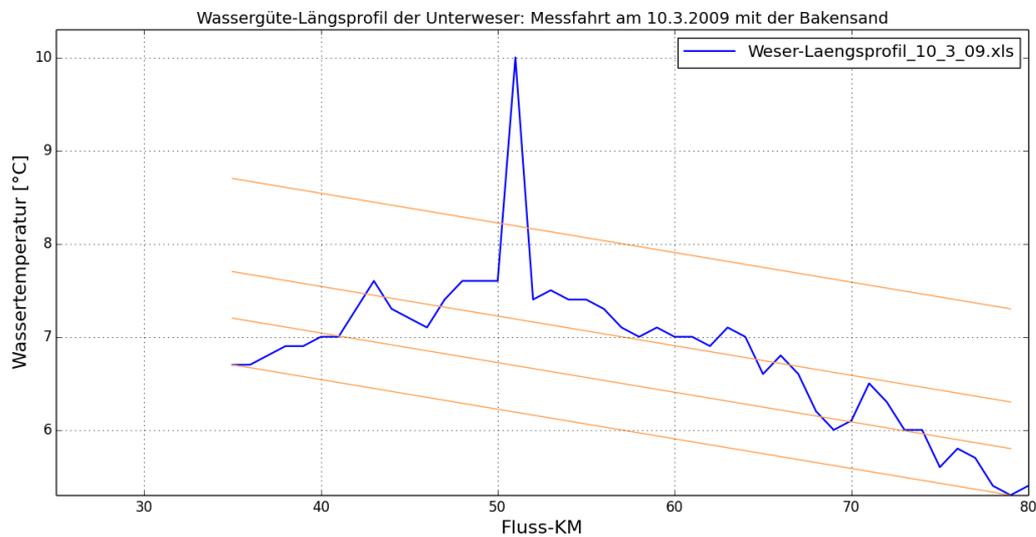
Die maximalen Wassertemperaturen in den niedersächsischen Küstengewässern und den Mündungsgebieten liegen in der Regel unter 23 °C und in den Übergangsgewässern unter 25 °C. Abgesehen von kalten Jahren können Temperaturerhöhungen von weniger als 3 K (Grenzwert für Temperaturerhöhung) bereits zu einer Überschreitung der festgelegten Grenzwerte für die maximale Sommertemperatur führen (siehe Abb. 24 und Abb. 25). Entsprechend verhält es sich mit dem Winter-Grenzwert von 10 °C. Auch dieser kann in durchschnittlichen oder warmen Jahren bei einer Temperaturerhöhung von weniger als 3 °C überschritten werden.

In den vorliegenden Daten für die Weser wurde jeweils nur ein Fall für eine Überschreitung des 10 °C- und des 25 °C-Grenzwertes beobachtet (siehe Abb. 56). Im März 2009 wurde an einem Flusskilometer der Grenzwert von 10 °C mit einer Temperaturerhöhung von 3,8 K genau erreicht. Im Juli 2010 trat eine Wärmefahne auf innerhalb derer der Grenzwert von 25 °C über eine Strecke von ca. 5 km überschritten wurde. Dabei trat eine Temperaturerhöhung von 2,5 K auf.

Die Überschreitung des Winter-Grenzwertes von 10 °C trat nur an einem Flusskilometer in der Weser auf. Daher ist anzunehmen, dass das Ereignis an diesem Ort nur kurzfristig auftrat. Zum einen wandert der Peak nach dem Hochwasser flussabwärts (siehe Abb. 39), und zum anderen ist diese Überschreitung insofern tolerabel, als dass sie lediglich eine Ausdehnung von ca. 1 km hatte. Das entspricht der Größe der eigentlich um ein Einleiter herum angenommenen Mischungszone, innerhalb derer höhere Toleranzgrenzen gelten.

Anders verhält es sich mit dem Ereignis im Sommer 2010 (8.7.2010) (Abb. 39 unten), da die Temperaturerhöhung > 25°C auf einer Länge von etwa 7 km messbar war. Vorausgesetzt, dass dieses Ereignis im Rahmen des Wärmemonitorings erfasst worden wäre und dass dieses Ereignis mindestens 1 Woche dauerte, würde die Bewertung des Wasserkörpers für das Jahr 2010 maximal mäßig ausfallen. Allerdings wäre zusammen mit den anderen Jahren für den 6-jährigen Bewertungszeitraum, an denen keine Überschreitung des 25 °C-Grenzwertes auftrat der Gewässerzustand der Weser bezüglich der thermischen Belastung insgesamt als gut einzustufen.

Überschreitung des 10 °C-Grenzwertes



Überschreitung des 25 °C-Grenzwertes

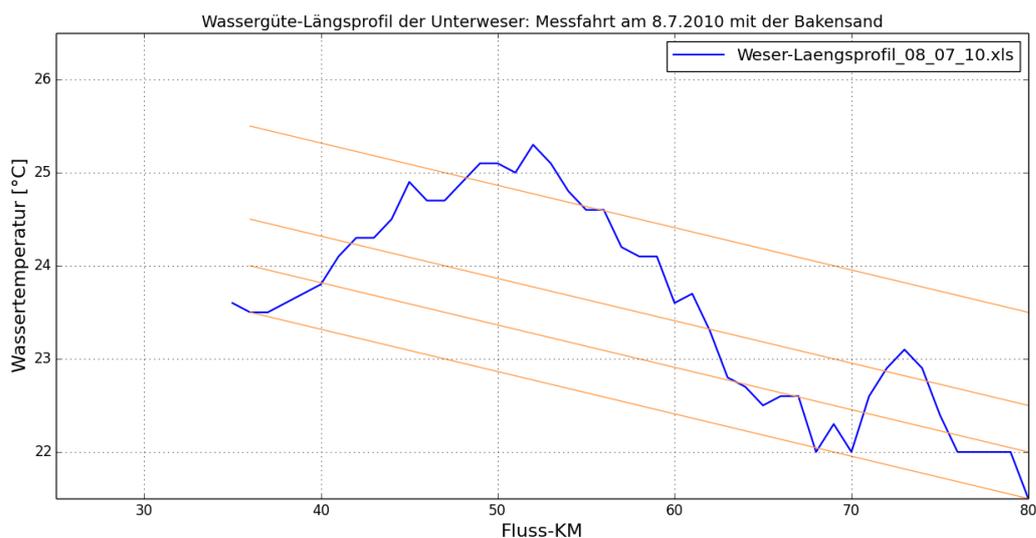


Abb. 56: Längsprofil der Wassertemperatur in der Weser vom 13.3.2009 und 8.7.2010. Dargestellt sind die Basislinie, welche die niedrigsten Temperaturwerte am Anfang (< 40 km) und am Ende (> 70 km) miteinander verknüpft sowie die um 0,5 K, 1 K und 2 K erhöhten Parallelen, welche eine Überschreitung der betreffenden Werte für die Temperaturerhöhung anzeigen.

Temperaturerhöhung

Die Längsprofile der Wassertemperatur in der Weser weisen teilweise scharfe Peaks mit einer Temperaturerhöhung von über 3 K auf. Die betreffenden Fälle sind in Tab. 53 aufgelistet und charakterisiert.

In allen Fällen wurde die Überschreitung des 3 K-Wertes nur an einem Flusskilometer gemessen. Daher ist von einer lediglich kurzfristigen Überschreitung an dem jeweiligen Ort auszugehen. Zudem handelt es sich um eine Oberflächenmessung, die möglicherweise über dem tiefengemitteltem Wert liegt, der eigentlich im Rahmen des Monitorings berücksichtigt werden soll. Als Beleg hierfür wird auf die Ergebnisse der Analysen in Kapitel 4.3.2 (Abschnitt „Vergleich von Messungen an der Oberfläche und in Bodennähe (Weser)“) verwiesen, in denen die Längsprofilmessungen mit den bodennahen Messungen verglichen wurden. In der Regel erreichen die Temperaturerhöhungen an der Oberfläche das Bodenwasser nicht, bzw. lagen die Temperaturen in der Regel etwa 1K unter denen der Oberfläche.

Tab. 53: Fälle, in denen im Bereich des KK-Unterweser in Längsprofilen der Wassertemperatur eine Temperaturerhöhung von mehr als 3 K beobachtet wurde.

Datum	Temperaturerhöhung [K]	Maximale Temperatur [°C]	Ausdehnung [km]
19.2.2008	3,5	8,8	1
15.5.2008	3,3	21,7	1
10.3.2009	3,8	10	1
2.12.2010	3,4	6,4	1
15.3.2010	3,2	7,3	1
16.2.2011	3	7,8	1

Die Analyse der Längsprofile in der Weser deutet darauf hin, dass der 3 K-Grenzwert für Temperaturerhöhungen an der Oberfläche kurzfristig überschritten wird. Berücksichtigt man jedoch:

- die geringe räumliche Ausdehnung der Ereignisse, die mit einer Ausdehnung von 1 km der Ausdehnung der, eigentlich um den Einleiter herum angenommenen Mischungszone entspricht und
- die zeitliche Variabilität in dem Längsprofil der Wassertemperatur, in dem der Peak im Laufe der Tidephase wandert,

so sind diese Überschreitungen als sehr kurzfristig und kleinräumig und damit als tolerabel einzuschätzen.

Durchgängigkeit

Aus den Querprofilen (siehe Abschnitt Quer- und Tiefenprofile der Wassertemperatur in der Weser (KKU) in Kapitel 4.3.2) und den Fernerkundungsdaten (siehe Abb. 50) lässt sich ableiten, dass sich die an den drei großen Kraftwerken E.ON WHV, KKU und Brokdorf auftretenden Wärmefahnen nur über einen geringen Teil der Bucht- bzw. Flussbreite erstrecken. Die Wärmefahnen nehmen deutlich weniger als 50 % der Gewässerbreite in Anspruch. Außerdem weisen sie nur in einem kleinen Bereich eine als potentielle Barriere angenommene Temperaturerhöhung von über 3 K auf. Zudem zeigten die Vergleiche der



oberflächennah gemessenen Längsprofile mit den bodennahen Messungen, dass sich die Wärmefahne nur in einem von 55 Fällen bis zum Boden ausdehnt. Damit wird der Grenzwert von maximal 33 % der Flussbreite bzw. 25 % des Flussquerschnittes für die Gewährleistung der Durchgängigkeit aller Wahrscheinlichkeit nach eingehalten.

Eine bessere Quantifizierung der mit FE-Daten erkannten Wärmefahnen im Hinblick auf die Breite der 3 K-Abschnitte innerhalb der Wärmefahnen und zur Abschätzung ihrer Ausdehnung im Vergleich zum Flussquerschnitt wäre über eine Extraktion von weiteren Querprofilen aus den FE-Daten möglich.

Die vorliegenden Daten deuten darauf hin, dass die Flüsse Weser und Elbe sowie der Jade-Wasserkörper zu jeder Zeit für Fische durchgängig sind.

Fazit der Bewertung

Derzeit gibt es keine Hinweise darauf, dass der Zustand der Wasserkörper Jade, Weser und Elbe im Hinblick auf die thermische Belastung schlechter als gut ist.

10 Diskussion

10.1 Bewertung der niedersächsischen Küstengewässer

Auf Grundlage der in dieser Studie vorgeschlagen Grenzwerte wird der ökologische Zustand der deutschen Küstengewässer und auch das ökologische Potential der deutschen Übergangsgewässer anhand des thermischen Regimes sowohl im Rahmen der WRRL als auch der MSRL als gut bewertet.

Damit wird die Einschätzung der Anfangsbewertung der deutschen Nordsee gemäß MSRL § 8 (BLANO 2012a) bzgl. des Wärmeeintrages durch diese Studie bestätigt. Signifikante Wärmeeinträge erfolgen hauptsächlich durch die Kühlwassereinleitungen von Kraftwerken. Die Wärmeeinträge von unterseeischen Kabeln haben keinen signifikanten Einfluss auf das thermische Regime für den gesamten Wasserkörper, obwohl es kurzzeitig im Sediment zu einer Erhöhung der Temperatur kommen kann, wobei bisherige Studien zeigten, dass die Grenzwerte für die Sedimente nicht überschritten wurden.

10.1.1 Bewertung nach WRRL

In dieser Studie wurde für die Klassengrenze gut/mäßig ein Grenzwert in den Übergangsgewässern von $\leq 25^{\circ}\text{C}$ und von $\leq 23^{\circ}\text{C}$ in den Küstengewässern vorgeschlagen (im Falle einer Temperaturdifferenz $\geq 1^{\circ}\text{C}$), wobei der Messort am Rand der Mischungszone von großen Wärmeeinleitern liegen muss. Diese Festlegungen erfolgten auf Grundlage der Ergebnisse der Temperatúrauswertungen und der Literaturstudie:

- die maximal auftretenden Temperaturen von 23°C in den Küstengewässern bzw. 25°C in den Übergangsgewässern wurden im Untersuchungszeitraum 2009 bis 2012 nicht überschritten,
- die Erwärmung durch das Kühlwasser der bestehenden Kraftwerke ist als relativ kleinräumig und als nicht dauerhaft anzusehen,
- Simulationsergebnisse der Ausbreitung von Wärmefahnen und der Temperaturmessungen der Weserlängsprofile um das KKW haben gezeigt, dass der Bereich mit einer Temperatur $\geq 3^{\circ}\text{C}$ nur im direkten Bereich um die Einleitungsstelle des Kühlwassers ($\leq 500\text{m}$) nachzuweisen ist.
- Temperaturdifferenzen $\leq 3^{\circ}\text{C}$ kommen auch durch natürliche Temperaturschwankungen vor und schädigen daher die vorkommenden Arten nicht.
- es gibt keine Hinweise (Querprofilmessungen, Fernerkundungsbilder, Literaturrecherche) auf die Ausbildung von Wärmebarrieren, die Fische an ihrer Wanderung hindern würden.

Basierend auf diesen Ergebnissen und zum heutigen Stand der Kühlwassereinleitungen ist der ökologische Zustand der Übergangs- und Küstengewässer bzgl. des Wärmeregimes gemäß WRRL als gut zu bewerten.

Die behördlichen Temperaturmessungen zur Überwachung der Wärmeeinleitungen finden bisher unregelmäßig statt. Einleiter großer Kühlwassermengen werden behördlicherseits verpflichtet Wärmemessungen durchzuführen. Diese Messungen müssen in der Regel kontinuierlich erfolgen (Genehmigungen der Umweltbehörde Bremen, siehe dort unter Benutzungsbedingungen). In Küstengewässern muss die Temperatur an der Einleitungsstelle und in den Übergangsgewässern sowohl an der Einleitungsstelle als auch an der Entnahmestelle dokumentiert und Behörden zur Kenntnis gegeben werden. Diese Temperaturmessungen werden durch behördliche Messungen verifiziert. Die von der WRRL geforderte Messfrequenz wird damit eingehalten. Es ist zu diskutieren, ob neue Betriebe, die große

Wärmeeinleitungen planen, weitere spezifische Vorgaben für die Temperaturmessungen erfüllen müssen, z. B. Lage der Messstationen und Häufigkeit der Messungen.

10.1.2 Bewertung nach MSRL

In dieser Studie wurden Grenzwerte für den guten Zustand der Küsten- und Übergangsgewässer bestimmt und ein Monitoringkonzept für die Überwachung von Wärmeeinträgen durch Kühlwassereinleitungen von Industriebetrieben vorgeschlagen. Indikatoren sind die Temperatur und die räumliche Wärmeausdehnung. Für den GES dürfen 23°C in den Küstengewässern bzw. 25°C in den Übergangsgewässern nicht überschritten werden. Gemessen werden muss die Temperatur am Rand der Mischungszone von großen Wärmeeinleitern.

Die Bewertung anhand der Gewässerwärme ist demnach gemäß MSRL sowohl für die Küsten- als auch für die Übergangsgewässer als gut einzustufen.

Die räumliche Ausdehnung der Belastung von Wärmeeinträgen ist in der Regel begrenzt, wohingegen ihre Wirkungen ausgedehnt sein können (BLANO 2012c). Als Beispiel wird die nicht auszuschließende Barrierewirkung auf Wanderungen verschiedener Arten genannt.

Die Literaturlauswertung innerhalb dieser Studie ergab keine Hinweise auf Barrierewirkungen für wandernde Arten durch erhöhte Temperaturen in Küsten- und Übergangsgewässern. In den Wärme-lastplänen wird für die Gewässer eine von der Temperaturerhöhung unbeeinträchtigte Breite von 2/3 des Flussquerschnittes angegeben. Diese Angaben haben vorsorglichen Charakter und sind nicht die Folge von wissenschaftlichen Untersuchungen.

Dauerhaft erhöhte Wassertemperaturen treten zwar nur lokal im Bereich der Kühlwassereinleitungen an den Kraftwerken auf, aber diese Areale bieten warmtemperierten Arten die Möglichkeit sich dort anzusiedeln. Das hat große Relevanz für wärmeliebende nicht einheimische Arten, die sich kaltem Wasser nicht etablieren könnten und an diesen warmen Standorten die Möglichkeit haben zu überleben. Im Rahmen der MSRL werden im Deskriptor 2 die nicht einheimischen Arten bewertet, der Indikator 2.1.1 bewertet u. a. die räumliche Verteilung dieser Arten besonders in Risikogebieten. Auch unter diesem Aspekt muss die Wärmeeinleitung bewertet werden. Da der Eintragung von nicht einheimischen Arten hauptsächlich durch Schiffe (Ballastwasser und Bewuchs der Schiffsrümpfe) erfolgt, stellen Häfen besondere Risikogebiete für den Eintrag von nicht einheimischen Arten dar. Kraftwerksstandorte in der Nähe von Häfen, wie z. B. der Jade-Weser-Port in der Nähe des Kraftwerks Wilhelmshafen oder die diversen Elbehäfen mit den in der Nähe befindlichen der Kraftwerken, stellen daher ein besonders großes Risiko für die Etablierung nicht heimischer Arten dar, das entsprechend bewertet werden muss. Somit sollte zukünftig von den Kraftwerksbetreibern gefordert werden innerhalb der Mischungszone die NIS überwachen. Viele NIS sind Aufwuchsorganismen (z. B. *Mytilopsis leucophaeata*), die gute Wachstumsbedingungen in den Kühlwasserrohren finden und diese dicht bewachsen. Daher müssen die Rohre häufig vom Aufwuchs gereinigt werden. Eine Artanalyse dieses Aufwuchses würde sicherlich schon eine gute Grundlage sein, das Arteninventar der NIS zu erfassen.

10.1.3 Bewertung im Rahmen dieser Studie

In dem für das Jahr 2011 durchgeführten Praxistest für den Wasserkörper Übergangsgewässer Weser sowie bei der Bewertung aller in diesem Dokument beschriebenen Indizien auf Temperaturänderungen durch anthropogene Wärmeeinträge in alle betrachteten Gewässer wurden keine Hinweise auf eine signifikante thermische Beeinträchtigung der Wasserkörper gefunden.

Gestützt wird dieses Ergebnis vor allem auf die sehr umfangreichen Informationen über die Temperaturverhältnisse im Übergangsgewässer Weser. Dieses Übergangsgewässer war (2011 wurde das

KKU abgeschaltet) vermutlich der am stärksten belastete Wasserkörper der niedersächsischen Küsten- und Übergangsgewässer. Die Analyse der Daten für dieses Übergangsgewässer ergab keine Hinweise auf eine nicht zu tolerierende Überschreitung der festgelegten Temperaturgrenzwerte (10 °C im Winter, 23 bzw. 25 °C im Sommer und 3 K ganzjährig). Auch die Durchgängigkeit dieses Gewässers scheint gewährleistet zu sein.

Da, wie oben bereits erwähnt, dieser Wasserkörper der am stärksten durch Wärme beeinträchtigte Wasserkörper ist, ist außerdem anzunehmen, dass auch alle anderen Wasserkörper mindestens den guten Zustand haben.

Die durchgeführte Bewertung berücksichtigt den Einfluss der durch Wärmeeinträge bedingten Temperaturerhöhungen auf die Biota. Jedoch kann trotz des „guten“ Bewertungsergebnisses die erhöhte Wassertemperatur im Zusammenhang mit der Ausbreitung von NIS für den Deskriptor D2 („Non-indigenous species introduced by human activities are at levels that do not adversely alter the ecosystem.“) zu einem schlechteren Gesamt-Ergebnis führen.

Es wird darauf hingewiesen, dass der anthropogene Wärmeeintrag in die Gewässer auch im Rahmen des Deskriptors 2 (nicht einheimische Arten) Relevanz hat, da es im Bereich der Kühlwassereinleitung ein dauerhaft erwärmtes Areal gibt, das wärmeliebenden Arten ermöglicht sich dort zu etablieren und den Winter zu überleben.

Ein weiterer Punkt, der in Betracht zu ziehen ist, ist die langfristige Klimaveränderung. Diese wird im Kontext dieser Studie nicht berücksichtigt. Kurzfristig führt eine allgemeine Erwärmung des Wassers zu einer Erhöhung der Referenztemperatur, so dass die Maximal-Temperaturen im Winter und Sommer (10 bzw. 23 °C) zukünftig schon bei geringeren Temperaturerhöhungen durch Wärmeeinträge überschritten werden können. Langfristig ist es jedoch möglich, dass die Temperaturänderungen zu einer Veränderung der Artenspektrums führen, so dass die festgelegten Grenzwerte angepasst werden müssen. In dem Falle würde der eben geschilderte Effekt kompensiert.

10.1.4 Auswirkungen durch Seekabel

Untersuchungen zu Wärmeeinträgen durch Seekabel ergaben, dass die Fläche mit erhöhter Temperatur (0,4 K im Sandwatt und 0,3 K im Mischwatt) maximal 7 m (3 m rechts und 4 m links) am Kabel betragen. Bei der vorgeschriebenen Kabelverlegetiefe von maximal 100 cm wird auch bei den untersuchten Windparks bei mehrtägiger Höchstlast der bisherige Temperaturgrenzwert von 2 K bzw. 3 K in 20 cm Sedimenttiefe eingehalten. Die Auswirkungen dieser Temperaturerhöhung auf das Benthos und den Sedimentchemismus sind bisher kaum untersucht. Für eine endgültige Bewertung dieser Wärmequelle, sollten weitere Untersuchungen gemacht werden.

10.1.5 Auswirkungen auf eingewanderte Arten (NIS)

Durch erwärmtes Wasser haben einige wärmeliebende, eingewanderte Arten die Möglichkeit sich fortzupflanzen. Da viele NIS durch das Ballastwasser von Schiffen oder den Bewuchs auf dem Schiffsrumpf eingetragen werden sind Häfen besondere Hotspots für NIS. Stehen Kraftwerke in der Nähe von Häfen, das E.ON Kraftwerk in der Jade und dem in direkter Nachbarschaft liegenden Jade-Weser-Port, haben die NIS, die auf höhere Temperaturen angewiesen sind, durch die erhöhten Temperaturen die Möglichkeit sich fortzupflanzen.

10.1.6 Prognose

Die Inbetriebnahme von weiteren Kraftwerken wird dazu führen, dass mehr Wärme in die Wasserkörper eingeleitet wird und sich die Kühlwasserfahnen der einzelnen großen Einleiter u. U. überschneiden werden,

so dass sich die resultierenden Temperaturerhöhungen in bestimmten Bereichen der Gewässer aufsummieren werden.

Folgende weitere Kraftwerke werden in der nahen Zukunft in Betrieb genommen bzw. erweitert:

- In der Jade wird das Kraftwerk der GDF-Suez in Betrieb genommen
- In der Weser wird das Kraftwerk Mittelsbüren von 60/160 MW auf 445 MW erweitert.
- In der Elbe wird das Kraftwerk Hamburg-Moorburg in Betrieb gehen.

In Hinblick auf diese geplanten Kraftwerke muss der additive Effekt der Kühlwassereinleitungen berücksichtigt werden. Simulationsrechnungen für ein geplantes Kraftwerk bei Stade haben gezeigt, dass die Kühlwasserfahne (Temperaturerhöhung bis 0,5 K) bis 20 km ober- und 30 km unter der Einleitung reicht. Dadurch können sich Kühlwasserfahnen von Brokdorf, Brunsbüttel, Stade und Moorburg überlagern, was zu einer weiteren Erhöhung der Temperatur führen wird.

Die additive Wirkung dieser Kraftwerke auf die thermische Belastung der Gewässer ist daher insbesondere nach Inbetriebnahme neuer Kraftwerke zu überwachen und zu bewerten. Eine mögliche additive Wirkung benachbarter Wärmeeinleitungen, d. h. eine Überlappung der resultierenden Wärmefahnen, lässt sich sehr gut mithilfe von FE überprüfen.

In diesem Zusammenhang ist auch die Festlegung von Referenzstandorten erwähnenswert. Da die Referenzstandorte oberhalb der betreffenden Wärmeeinträge liegen sollen, können sie durch die Wärmefahnen der weiter flussaufwärts gelegenen Wärmeeinträge beeinflusst werden. Über Fernerkundungsdaten kann herausgefunden werden, ob die Referenzwerte bereits einen Bias durch oberhalb gelegenen Wärmeeinleiter aufweisen.

Auch die Klimaerwärmung wird dazu führen, dass sich die Minimum- und Maximaltemperaturen erhöhen. Daher müssen die oben angegebenen Grenzwerte von Zeit zu Zeit überprüft und ggf. angepasst werden. In der Literatur wird zwar die Meinung vertreten, dass die langsame Klimaerwärmung im Vergleich zu den i. d. R. schnellen Generationszeiten der Organismen dazu führt, dass sich die Organismen an die höheren Temperaturen anpassen können, aber wie die oben zitierten Forschungsergebnisse (Beukema und Dekker 2011; Beukema et al. 2009; Kröncke et al. 2011) gezeigt haben, führen dauerhaft höhere Temperaturen zu einer deutlichen Veränderung in der Artenzusammensetzung im Gewässer. In einem solchen Fall sind die festgelegten Temperatur-Grenzwerte entsprechend anzupassen. Verschiebt sich das Artenspektrum hin zu wärmetoleranteren Arten, so müssen entsprechend höhere Grenzwerte gewählt werden.

10.2 Bewertungskonzept

Das vorgeschlagene Bewertungskonzept basiert im Wesentlichen auf einer kontinuierlichen Erfassung der Wassertemperatur. Die Messungen müssen 500 m flussabwärts vom Einleiter sowie wenige Kilometer flussaufwärts erfolgen, um sowohl die Wassertemperatur am Rand der Mischungszone, also im näheren Umfeld der Einleitung, als auch die Referenztemperatur zu messen.

Derzeit werden jedoch keine kontinuierlichen Messungen am Rand der Mischungszone durchgeführt und kontinuierliche Messungen an Referenzstandorten werden lediglich in der Weser in ausreichender Zahl vorgenommen. Eine Bewertung der niedersächsischen Küsten- und Übergangsgewässer im Sinne des entworfenen Konzeptes war daher im Rahmen dieser Studie nicht möglich. Allerdings liegen für die Bewertung der Weser ausreichend Informationen über die räumliche Variabilität der Wassertemperatur vor, die aus Profil-Messungen und aus der Fernerkundung gewonnen wurden. Um diese Datendichte auch für andere Gewässer zu erreichen, wären entsprechende Messreihen notwendig, die in der Summe jedoch wesentlich aufwändiger wären, als die in dieser Studie vorgeschlagenen kontinuierlichen Messungen. So

wird die bodennahe Wassertemperatur in der Weser derzeit vom WSA-Bremerhaven an mehreren Stationen kontinuierlich gemessen (Abb. 5 d). Damit stellt dieser optionale Bewertungsansatz lediglich für die Weser einen möglichen Ansatz dar.

Der Begriff Mischungszone suggeriert, dass es sich um den Bereich mit der stärksten Temperaturerhöhung handelt. Nimmt man diese Vorstellung zusammen mit den vorliegenden Definitionen (500 m Abstand bzw. bis zur Fahrrinne, siehe z. B. Lastplan für Jade und Elbe (Arbeitsgemeinschaft IFEU, ARSU und IMP, 2009 und Wärmelastplan Tideelbe, 2008), so ist dieser Bereich dezidiert festgelegt und nicht räumlich variabel. Das Gegenteil scheint jedoch in der Realität der Fall zu sein, insbesondere wenn sich der Einleitungsstelle tief unter Wasser befindet. So treten die Maximaltemperaturen in den Längsprofilen der Weser über den Kilometerabschnitt von 50 bis 55 km auf und schwanken somit um 5 km. Hier wäre eine entsprechende Anpassung der Definition für Mischungszone in Form einer flexiblen Definition bzw. Interpretation notwendig. Aus praktischen Gründen wird empfohlen, von der obigen Definition auszugehen, diese jedoch im Einzelfall anhand vorliegender Informationen, vor allem aus der Fernerkundung sowie aus In-situ-Längs- und Querprofilen, auf Anwendbarkeit zu überprüfen und bei Bedarf zu modifizieren.

Im Rahmen der durchgeführten Bewertung wurde der Begriff flexibel interpretiert. In den Längsprofilen der Wassertemperatur in der Weser wurden die scharfen Peaks, die im Bereich der Flusskilometer 50 bis 54 auftraten als tolerabel eingestuft, da sie mit einer Ausdehnung von ca. 1 km der Ausdehnung der Mischungszone entsprachen, die einen Radius von 500 m und damit einen Durchmesser von 1 km hat. Zwar ist durch das Hin- und- Herbewegen des erwärmten Bereiches die beeinflusste Fläche größer, aber die Ausdehnung des Bereiches bleibt in den Grenzen, die für die Mischungszone festgelegt wurden.

10.3 Monitoringmessnetz

Für die Charakterisierung der Wärmeeinleitungen im Rahmen dieser Studie wurden die nächstgelegenen Temperatur-Messreihen als Referenz-Messungen verwendet. Die betreffenden Messorte sind in Tab. 56 angegeben. Dabei wurden, soweit möglich, flussaufwärts gelegene Messreihen berücksichtigt. Die Messorte, an denen kontinuierlich die Wassertemperatur gemessen wird, sind in Tab. 54 aufgelistet und in Abb. 57 dargestellt.

Tab. 54: Referenzstandorte zur Messung der Wassertemperatur im Bereich der niedersächsischen Küsten- und Übergangsgewässer.

Gewässer	Referenz_Ort	Messintervall
Küste	Bork_W_1	2 bis 6 Messungen pro Jahr
	Nney_W_1	2 bis 6 Messungen pro Jahr
	Nney_W_2 (W3)	Wöchentlich
	Spog_W_1	Kontinuierlich
Ems	Gandersum	Kontinuierlich
Jadebusen	Außenjade (WSA-WHV)	Kontinuierlich
	Pile Jade 1	Kontinuierlich (beendet)
	Pile Jade 2	Kontinuierlich (beendet)
	JaBu_W1	2 bis 6 Messungen pro Jahr
Weser	BHV Alter Leuchtturm	Kontinuierlich
	Blexen	Kontinuierlich
	Brake	Kontinuierlich
	Dwarsgat	Kontinuierlich
	Intschede	Kontinuierlich
	Rechtenfleth	Kontinuierlich
	Robbensüdsteert	Kontinuierlich
	Strohauserplate-Ost	Kontinuierlich
Elbe	Grauerort	Kontinuierlich
	Landstation Cuxhaven	Kontinuierlich

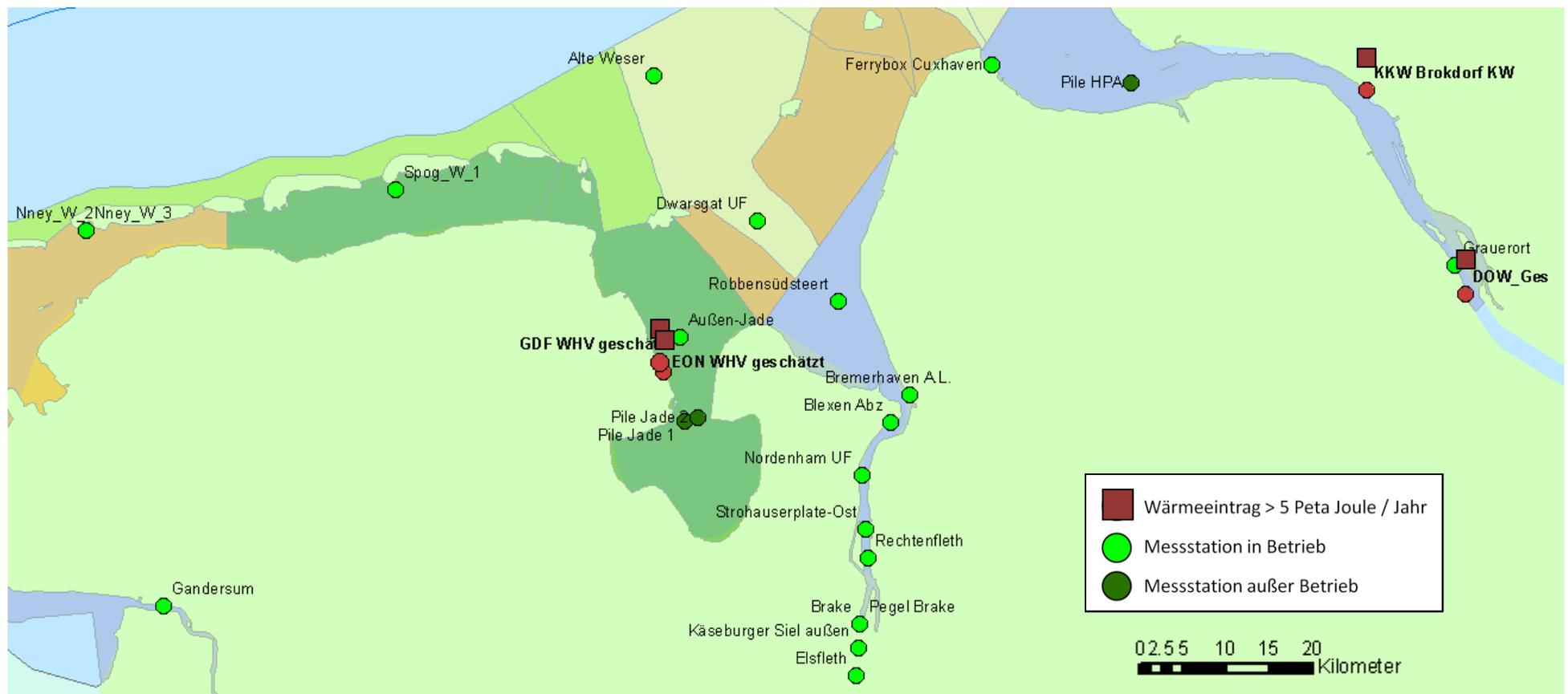


Abb. 57: Monitoring der Wassertemperatur im Bereich der niedersächsischen Küsten- und Übergangsgewässer: Die größten Wärmeeinträge (rot) und die Messstationen, an denen kontinuierlich die Wassertemperatur gemessen wird (hellgrün = in Betrieb, dunkelgrün = außer Betrieb). Datengrundlage sind die Wärmeeinträge im Jahr 2012.

Berücksichtigt man die Anzahl der Messpunkte in den Gewässern sowie die Messintervalle, so fällt auf, dass in der Jade sowie in der Elbe kontinuierliche Messungen im Bereich der großen Wärmeeinleiter fehlen. Für die Küstenregion lässt sich diskutieren, inwieweit eine Überwachung der Wärmeeinträge zum Zwecke der MSRL notwendig ist. Einerseits aufgrund der im Vergleich zu den großen Wärmeeinträgen in die Jade, die Weser und die Elbe sehr niedrigen Einträge in die Küstenregion, andererseits wegen der exponierten Lage an der Küste mit einem starken Wasseraustausch erscheinen die Wärmeeinträge im Küstenbereich geringfügig. Die höchsten Wärmeeinträge mit 0,028 Peta Joule erfolgen durch die Gemeinde Borkum. Die Kraftwerke KKW und Brokdorf tragen mit 76 Peta Joule jeweils das 2700fache dieser Wärmeenergie in die Weser bzw. Elbe ein.

In der Ems befinden sich fast alle Einleiter unterhalb der Pegelstation Gandersum, aber sie sind bis zu 22 km von Gandersum entfernt, so dass eine weitere Messposition im Bereich Emden als Referenzstandort notwendig ist, wenn man die Einleitungen überwachen möchte. Allerdings betragen die Wärmeeinträge des größten Wärmeeinleiters in der Ems (Emdener Kraftwerksbetriebe) mit 0,25 bis 0,45 Peta Joule (siehe Abb. 59 im Anhang) 3 bzw. 6 Promille der Wärmeeinträge, die durch das KKW bzw. das Kraftwerk in Brokdorf erfolgen. Daher erscheint die Notwendigkeit einer Überwachung aus Geringfügigkeit nicht zwingend notwendig.

Die Weser weist durch die Pegelmessungen des WSA-BHV eine sehr gute räumliche Abdeckung mit kontinuierlichen Messungen der Wassertemperatur auf. Für das Kraftwerk KKW wurden die bodennahen Messungen der Station Strohauserplate-Ost als Referenz verwendet. Die Ergebnisse des Praxistests aus Abschnitt 9.2.1 deutet an, dass diese Position als Referenzstandort geeignet ist, da als minimale Temperaturerhöhung in 2011 $-0,1\text{ °C}$ erreicht wurde. Für einen Referenzstandort sollte ein Wert von ≥ 0 erwartet werden, wobei das Ergebnis mit $-0,1\text{ °C}$ in einem akzeptablen Toleranzbereich liegt.

Berücksichtigt man die Kriterien für die Wahl eines Referenzstandortes (andere Uferseite, vergleichbare Wassertiefe, wenige Kilometer oberhalb des Einleiters), so lassen sich vor allem für die Überwachung der beiden großen Kraftwerke E.ON-WHV und Kernkraftwerk-Brokdorf Schwachstellen erkennen:

- Für das Kraftwerk in Brokdorf liegt der Referenzstandort Grauerort auf der richtigen (da gegenüberliegenden) Uferseite, aber mit über 20 km zu weit weg. Hier müsste zumindest eine systematische Korrektur berücksichtigt werden, die saisonal schwanken kann.
- In der Jade finden derzeit keine kontinuierlichen Messungen der natürlichen Wassertemperatur statt, da die Pfahlmessungen durch das HZG eingestellt worden sind.

10.4 Fernerkundung zum Zwecke des Wärmemonitorings

Die dargestellten Fernerkundungsdaten haben gezeigt, dass sich Wärmefahnen mithilfe von hochaufgelösten thermalen Satellitendaten sehr gut erkennen lassen. Die aus den Satellitenbilder abgeleiteten Darstellungen zur räumlichen Variabilität der Wassertemperatur sind sehr gut geeignet, um:

- das Vorhandensein von Wärmefahnen aufzuzeigen,
- die flächenhafte Ausdehnung von Wärmefahnen darzustellen und
- die Temperaturen und Temperaturerhöhungen zu quantifizieren.

In Tab. 55 sind die Anwendungsfälle für FE-Daten in Abhängigkeit der Gewässertypen aufgelistet.

Insbesondere aufgrund der ungenügenden Informationen über die flächenhafte Ausbreitung von Wärmefahnen empfehlen wir die Berücksichtigung von Fernerkundungsdaten. Denn FE-Daten stellen eine

wichtige Informationsquelle dar, um die räumliche und zeitliche Variabilität von Temperaturfahnen zu erfassen.

Bei der Festlegung des Monitoringnetzes ermöglichen die FE-Daten fundierte Entscheidungen über die Positionierung der Messorte für die Erfassung der Wassertemperaturen am Rand der Mischungszone sowie der Referenztemperatur. Außerdem erlauben FE-Daten eine Bewertung von Wärmeeinträgen im Hinblick auf Temperaturerhöhungen und Durchgängigkeit.

Bei der Charakterisierung von Wärmefahnen ist die FE durch die hohe räumliche Auflösung und Abdeckung einerseits Querprofilmessungen überlegen. Andererseits fehlen Informationen über die Wassertemperatur in der Tiefe und es kann bei FE Daten keine regelmäßige Erfassung garantiert werden. Zwar sind die Satellitenüberflüge regelmäßig, aber durch Wolkenbedeckung ist nur ein bestimmter Prozentsatz der Daten für die Fragestellung verwendbar. Außerdem zeigen nicht alle Aufnahmen eine Ausprägung von Wärmefahnen, was an den Bedingungen zum Aufnahmezeitpunkt liegt.

Für die aufgeführten Verwendungsmöglichkeiten wird dennoch empfohlen, ergänzend zu Insitu-Messungen auch räumlich hochaufgelöste FE-Temperaturdaten zu berücksichtigen, und zwar sowohl bei der Festlegung der Messorte für das Insitu-Monitoring als auch im Rahmen des kontinuierlichen Monitorings.

Ohne aufwändige Atmosphärenkorrektur, erlauben räumlich hoch aufgelöste Satellitendaten lediglich die Erfassung der relativen Temperatur, also von Temperaturunterschieden. Die Messung der absoluten Temperatur über FE kann standardmäßig mit räumlich grob aufgelösten Satellitendaten erfolgen (siehe hierzu Kapitel 3.3.2 Abschnitt Vergleich der räumlich grob aufgelösten FE-Daten mit Zeitserien der Wassertemperatur). Deren Auflösung erlaubt im Küstenbereich fehlende kontinuierliche Temperaturmessungen zur Überwachung der absoluten Wassertemperatur zu ersetzen/ergänzen.

Sollten keine kontinuierlichen Messungen am Rand der Mischungszone durchgeführt werden (können), so sind in jedem Fall FE-Daten in Kombination mit Querschnittsmessungen zur Bewertung heranzuziehen.

Tab. 55: Anwendungsfälle für Fernerkundungsdaten in den Gewässertypen Küstengewässer, Mündungsgebiete und Fließgewässer.

Einsatzmöglichkeit	Bemerkung
Erfassung der absoluten Temperatur	Mit räumlicher Auflösung von 1 km möglich. Daher nur für Küstengewässer geeignet.
Erfassung zeitlicher Variabilität der Wassertemperatur	Mit räumlicher Auflösung von 1 km möglich. Daher nur für Küstengewässer geeignet.
Erfassung kleinräumiger Strukturen der Temperaturverteilung: <ul style="list-style-type: none">• Querprofile der Oberflächentemperatur,• Ausdehnung von Wärmefahnen und• Durchgängigkeit	Mit räumlicher Auflösung von 100 m möglich. Zeitliche Verfügbarkeit jedoch eingeschränkt (ca. 5 bis 10 Aufnahmen jährlich).

11 Literaturverzeichnis

- ABOU-SEEDO, F.S.; POTTER, I.C. (1979): The estuarine phase in the spawning run of the River lamprey *Lampetra fluviatilis*. Journal of Zoology 118(1): 5-25.
- ACOLAS, M.L.; VÉRON, V.; JOURDAN, H.; BÉGOUT, M.L.; SABATIÉ, M.R.; BAGLINIÈRE, J.L. (2006): Upstream migration and reproductive patterns of a population of allis shad in a small river (L'Aulne, Brittany, France). ICES Journal of Marine Science 63: 476-484.
- ALABASTER, J.S.; DOWNING, A.L. (1966): A field and laboratory investigation of the effect of heated effluents on fish. Fishery Investigations, London 6(4).
- ALABASTER, J.S.; LLOYD, R. (1980): Water Quality Criteria for Freshwater Fish. Butterworths, London and Boston, (FAO-EIFAC).
- ANKAR, S.; JANSSON, B. O. (1973): Effects of an unusual natural temperature increase on a Baltic soft-bottom community. Marine Biology 18: 9-18.
- ANSELL, A. D.; BARNETT, P.R.O.; BODOY, A.; MASSÉ, H. (1980a): Upper temperature tolerances of some European molluscs II. *Donax vittatus*, *D. semistriatus* and *D. trunculus*. Marine Biology 58: 41-46.
- ANSELL, A. D.; BARNETT, P.R.O.; BODOY, A.; MASSÉ, H. (1980b): Upper temperature tolerances of some European Molluscs. I *Tellina fabula* und *T. tenuis*. Marine Biology 58: 33-39.
- APRAHAMIAN, M.W. (1988): The biology of the twaite shad, *Alosa fallax fallax* (Lacépède), in the Severn Estuary. Journal of Fish Biology, 33: 141-152.
- ARBEITSGEMEINSCHAFT IFEU; ARSU; IMP (2009): Grundlagen zur Erstellung eines Wärme- und Schadstoffplans für den Wasserkörper "Wattenmeer Jadebusen und angrenzende Küstenabschnitte". Auftraggeber Niedersächsischer Landesbetrieb für Wasserwirtschaft, Küsten- und Naturschutz (NLWKN), Betriebsstätte Brake/Oldenburger.
- ARBEITSGRUPPE WÄRMELASTPLAN WESER (1974): Wärmelastplan Weser. Ed.: Flussgebietsgemeinschaft Weser.
- ASTON, R. J. (1968): The effect of temperature on the life cycle, growth and fecundity of *Branchiura sowerbyi* (Oligochaeta: Tubificidae). Journal of Zoology. (Lond.) 154: 29-40.
- ATTRILL, M.; POWER, M. (2004): Partitioning of temperature resources amongst an estuarine fish assemblage. Estuarine, Coastal and Shelf Science 61:725-738.
- BAMBER, R. N. (1985): Coarse substrate benthos of Kingsnorth outfall lagoon, with observation on *Petricola pholadiformis* (Lamarck). CEGB Internal Report, TPRD/1/2759/N84, Leatherhead, UK
- BAMBER, R. N. (1990): Power station thermal effluents and marine crustaceans. Journal of Thermal Biology 15 (1): 91-96.
- BAMBER, R. N.; COUGHLAN, J. (1987): An ecological survey of the foreshore adjacent of Hinkley Point. Central Electricity Generating Board Internal Publication TPRD/L/3127 R87.
- BAMBER, R. N.; HENDERSON, P. A. (1981): Bradwell biological investigations; analysis of the benthic surveys of the River Blackwater up to 1975. Internal Report, RD/L 2042, R81, Leatherhead UK.
- BAMBER, R. N.; IRVING, P. W. (1997): The differential growth of *Sabellaria aveolata* (L.) reefs at a power station outfall. Polychaete Research 17: 9-14.
- BAMBER, R. N.; SEABY, R.M.H. (2004): The effects of power station entrainment passage on three species of marine planktonic crustacean, *Acartia tonsa* (Copepoda), *Crangon crangon* (Decapoda) and *Homarus gammarus* (Decapoda). Marine Environmental Research 57: 281-294. DOI: 10.1016/j.marenvres.2003.08.002.
- BAMBER, R. N.; SPENCER, J. F. (1984): The benthos of a coastal power station thermal discharge canal. Journal of Marine Biological Association of United Kingdom 64: 603-623.
- BARNABÉ, G. (1991): Grossissement des poissons en élevage intensif. In: Bases biologiques et écologiques de l'aquaculture, pp. 422-451 (Barnabé G., Ed.) Lavoisier-Tec & Doc. Paris.
- BARNETT, P.R.O. (1971): Some changes in intertidal sand communities due to thermal pollution. Proceedings of the Royal Society of London Series (B) 177: 353-364.
- BARTON, B.A. (1996): General biology of salmonids. In: Principles of Salmonid Culture, pp. 29-96 (Pennel, W. and Barton, B.A., Eds.) Elsevier, Amsterdam.
- BAW (2007): Kraftwerksstandort Wilhelmshaven: Wasserbauliche Potenzialanalyse zu Kühlwassereinleitung. Gutachten im Auftrag der Stadt Wilhelmshaven. Online verfügbar unter http://www.buerger-whv.de/vorschau/cms/downloads/6-BAW_Potenzialanalyse.pdf, zuletzt geprüft am 15.03.2014.
- BEAMISH, F.W.H. (1980): Biology of the North American anadromous sea lamprey, *Petromyzon marinus*. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 37: 1924-1973.
- BEEMS (2011): Thermal standards for cooling water from new build nuclear power stations. British Energy Estuarine & Marine Studies, Scientific Advisory Report Series No.008. pp. 148. Online verfügbar unter

- <http://www.cefas.defra.gov.uk/media/459475/beems%20scientific%20advisory%20report%20no%20008.pdf>, zuletzt geprüft am 10.11.2014
- BEITINGER, T. L., BENNETT, W. A. & MCCAULEY, R. W. (2000): Temperature tolerance of North American freshwater fishes exposed to dynamic changes in temperature. *Environmental Biology of Fishes* 58: 237-275.
- BEUKEMA, J. J.; DEKKER, R. (2011): Increasing species richness of the macrozoobenthic fauna on tidal flats of the Wadden Sea by local range expansion and invasion of exotic species. *Helgoländer Marine Research* 65 (2): 155–164. DOI: 10.1007/s10152-010-0210-7.
- BEUKEMA, J. J.; DEKKER, R.; JANSEN, J. M. (2009): Some like it cold: populations of the tellinid bivalve *Macoma balthica* (L.) suffer in various ways from a warming climate. *Marine Ecology Progress Series* 384: 135–145. DOI: 10.3354/meps07952.
- BIOCONSULT (2013): Temperaturmonitoring Alpha Ventus im Hilgenrieder Watt – Zusammenfassende Ergebnisdarstellung 01.03. – 23.11.2012. Gutachten für Tennet Offshore GmbH, Bernecker Straße 70, 95448 Bayreuth.
- BJORNIN, J.R. & REISER, D.W. (1991): Habitat requirements of salmonids in streams. In: *Influence of Forest and Rangeland Management on Salmonids Fishes and Habitats*. W.R. MEEHAN (Ed.), American Fisheries Society, Special Publication, 19: 83 - 138.
- BLAIR, A.A. (1938): Factors affecting growth of the scales of salmon (*Salmo salar*). PhD thesis, Univ. Toronto, Ontario, Canada, pp. 227.
- BLAXTER, J. (1960): The effect of extremes of temperature on herring larvae. *Journal of Marine Biological Association of United Kingdom* 39:605-608.
- BOBSIEN, I.; MUNKES, B. (2004): Saisonale Variation der Fischgemeinschaft und der Habitatstruktur einer Seegraswiese (*Zostera marina* L.) der südlichen Ostsee. *Rostock. Meeresbiol. Beitr.* 12: 39–59.
- BOLLE, L.; DAPPNER, R.; WITTE, J.; VAN DER VEER, H. (1994): Nursery grounds of dab (*Limanda limanda* L.) in the southern North Sea. *Journal of Sea Research* 32: 299-307.
- BORRMANN, C. B. (2006): Wärmeemission von Stromkabeln in Windparks - Laboruntersuchungen zum Einfluss auf die benthische Fauna. Dipl. Arbeit Universität Rostock.
- BORUM, J.; DUARTE, C. M.; KRAUSE-JENSEN, D.; GREVE, T. M. (2004): European seagrasses: an introduction to monitoring and management. The M&M Project, pp. 88.
- BRAKELMANN, H. (2011): Kabelverbindung der Offshore-Windfarm Nordergründe zum Festland - Thermische und magnetische Emissionen. Gutachten. Auftraggeber Tennet Offshore GmbH, Bayreuth, zuletzt geprüft am 26.02.2014.
- BRANDER, K. (1993): Comparison of Spawning Characteristics of Cod (*Gadus morhua*) Stocks in the North Atlantic. *NAFO Scientific Council Studies* 18:13-20.
- BRAWN, V.M. (1960): Temperature tolerance on unacclimated herring (*Clupea harengus* L.) *Journal of the Fisheries Research Board of Canada* 17: 721-723.
- BROCHIER, T.; RAMZI, A.; LETT, C.; MACHU, E.; BERRAHO, A.; FREOM, P.; HERNANDEZ-LEON, S. (2008): Modelling sardine and anchovy ichthyoplankton transport in the Canary Current System. *Journal of Plankton Research* 30(10): 1133-1146.
- BLANO (2012a): BUND/LÄNDER-AUSSCHUSS NORD- UND OSTSEE, Umsetzung der Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie - Anfangsbewertung der deutschen Nordsee nach § 8 MSRL. Online verfügbar unter http://www.schleswig-holstein.de/MELUR/DE/Allgemeines/Umsetzung_MSRL/PDF/Anfangsbew_Nordsee_blob=publicationFile.pdf, zuletzt geprüft am: 24.11.2014.
- BLANO (2012b): BUND/LÄNDER-AUSSCHUSS NORD- UND OSTSEE, Umsetzung der Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie - Beschreibung des guten Umweltzustands für die deutsche Nordsee nach § 9 MSRL. Online verfügbar unter http://www.schleswig-holstein.de/MELUR/DE/Allgemeines/Umsetzung_MSRL/PDF/GES_Nordsee_blob=publicationFile.pdf, zuletzt geprüft am 24.11.2014.
- BLANO (2012c): Bund/LÄNDER-AUSSCHUSS NORD- UND OSTSEE, Umsetzung der Meeresstrategie-Rahmenrichtlinie - Festlegung von Umweltzielen für die deutsche Nordsee nach § 10 MSRL. Online verfügbar unter http://www.schleswig-holstein.de/MELUR/DE/Allgemeines/Umsetzung_MSRL/PDF/Umweltziele_Nordsee_blob=publicationFile.pdf, zuletzt geprüft am: 24.11.2014.
- BRIAND, F.J.-P. (1975): Effects of Power-Plant Cooling Systems on marine phytoplankton. *Marine Biology* 33: 135–146.
- BUDD, G. (2008): *Asterias rubens*. Common starfish. Marine Life Information Network: Biology and Sensitivity Key Information Sub-programme [on-line]. Plymouth: Marine Biological Association of the United Kingdom. Online verfügbar unter <http://www.marlin.ac.uk/speciesfullreview.php?speciesID=2657>, zuletzt geprüft am 27.05.2014.
- BUDD, G.; PIZZOLA, P. (2008): *Ulva intestinalis*. Gut weed. Marine Life Information Network: Biology and Sensitivity Key Information Sub-programme [on-line]. Plymouth: Marine Biological Association of the United Kingdom. Online verfügbar unter <http://www.marlin.ac.uk/speciesfullreview.php?speciesID=4540>, zuletzt geprüft am 27.05.2014.

- BUDD, G.; RAYMENTT, W. (2001): *Macoma balthica*. Baltic tellin. Marine Life Information Network: Biology and Sensitivity Key Information Sub-programme [on-line]. Plymouth: Marine Biological Association of the United Kingdom. Online verfügbar unter <http://www.marlin.ac.uk/speciesfullreview.php?speciesID=3749>, zuletzt geprüft am 27.05.2014.
- BULHUIS, D. A. (1987): Effects of temperature on photosynthesis and growth of seagrasses. *Aquatic Botany* 27: 27–40.
- BUNDESAMT FÜR SEESCHIFFFAHRT UND HYDROGRAPHIE, HAMBURG (2009): Umweltbericht zum Raumordnungsplan für die deutsche ausschließliche Wirtschaftszone (AWZ) in der Nordsee. Online verfügbar unter http://www.bsh.de/de/Meeresnutzung/Raumordnung_in_der_AWZ/Dokumente_05_01_2010/Umweltbericht_Nordsee.pdf, zuletzt geprüft am 03.03.2014.
- BUNDESAMT FÜR STRAHLENSCHUTZ (2005): Grundsätze zu den Umweltauswirkungen im Zusammenhang mit elektromagnetischen Feldern und thermischen Auswirkungen der Kabelanbindung von Offshore-Windenergieparks an das Verbundstromnetz, Online verfügbar unter http://doris.bfs.de/jspui/bitstream/urn:nbn:de:0221-201102045013/3/BfS_2005_Grundsatzpapier_Offshore_Windenergieparks.pdf, zuletzt geprüft am 26.02.2014.
- BUSCHBAUM, C.; LACKSCHEWITZ, D.; REISE, K. (2012): Non-native macrobenthos in the Wadden Sea ecosystem. *Ocean & Coastal Management* 68: 89–101. DOI: 10.1016/j.ocecoaman.2011.12.011.
- CAIRNS, J.J. (1956): Effects of increased temperatures on aquatic organisms. *Industrial Wastes* 1: 150-152.
- CHALIKOV, B.G. (1949): Atlanticheskiĭ osëtri - *Acipenser sturio* Linné. In: L.S. Berg, A.S. Bogdanov, N.I.Kozhin, and T.S. Rass (Eds.) *Promyslovye ryby SSSR. Opisaniya ryb. Pishchepromizdat, Moskva*. Pp. 69-71
- CHARLES, K.; JATTEAU, P. (2010): Analyse de la sensibilité des jeunes stades de grande alose *Alosa alosa* aux facteurs de l'environnement. Résultats 2009/ Synthèse 2008-2009. Rapport final Cemagref Bordeaux – ONEMA, January.
- CHARLON, N. (1969): Relation entre métabolisme respiratoire chez les poissons, teneur en oxygène et température. Extrait Bull. Soc. Histoire Naturelle de Toulouse, 105(1-2): 136-156.
- CHERRY, D.S.; DICKSON, K.L.; CAIRNS, J.J.R.; STAUFFER, J.R. (1977): Preferred, avoided and lethal temperatures of fish during rising temperature conditions. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada* 34:239-246.
- CHERRY, D. S.; RODGERS, J. H.; GRANEY, R. L.; CAIRNS, J. (1980): Dynamics and control of the Asiatic clam in the New River, Virginia. Bulletin 123 of the Virginia Water Resources Center, Blacksburg, Va.
- CHOI, D.H.; PARK, J. S.; HWANG, C.Y.; HUH, S.H.; CHO, B.C. (2002): Effects of thermal effluents from a power station on bacteria and heterotrophic nanoflagellates in coastal waters. *Marine Ecology Progress Series* 229: 1–10. Online verfügbar unter <http://www.int-res.com/articles/meps2002/229/m229p001.pdf>, zuletzt geprüft am 04.03.2014.
- CHUANG, Y.-L.; YANG, H.-H.; LIN, H.-J. (2009): Effects of a thermal discharge from a nuclear power plant on phytoplankton and periphyton in subtropical coastal waters. *Journal of Sea Research* 61 (4): 197–205. DOI: 10.1016/j.seares.2009.01.001.
- COMPTON, T. J.; RIJKENBERG, M.J.A.; DRENT, J.; PIERSMA, T. (2007): Thermal tolerance ranges and climate variability: a comparison between bivalves from differing climates. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 352: 200–211, zuletzt geprüft am 18.03.2014.
- COSTELLO, M. J.; FRETWELL, K.; READ, P. (1993): Toxicity of sewage sludge to *Crangon crangon* and *Artemia salina*, with reference to other marine crustacea. *Aquatic Living Resources* 6: 351–356.
- COUTANT, C.C. (1977): Compilation of temperature preference data. *Journal of the Fisheries Research board of Canada* 34: 739-745.
- CRISP, D. J. (1957): Effect on low temperature on breeding of marine animals. *Nature* 179: 1138–1139.
- CRISP, D. J. (1964): Racial differences between North American and European forms of *Balanus balanoides*. *Journal of Marine Biological Association of United Kingdom* 44: 33–45.
- de GROOT, S.J. (2002): A review of the past and present status of anadromous fish species in the Netherlands: is restocking the Rhine feasible? *Hydrobiologia* 478: 205-201.
- DEMPSEY, C.H.; BAMBER, R.N. (1983): Spawning of herring (*Clupea harengus*) in the Blackwater Estuary, Spring 1979. *ICES Journal of Marine Science*, 41: 85-92.
- DENA (2010): dena-Netzstudie II: Integration erneuerbarer Energien in die deutsche Stromversorgung im Zeitraum 2015 – 2020 mit Ausblick 2025. Herg.: Deutsche Energie-Agentur GmbH (dena) Energiesysteme und Energiedienstleistungen, Chausseestraße 128 a, 10115 Berlin. Online verfügbar unter http://www.dena.de/fileadmin/user_upload/Publikationen/Erneuerbare/Dokumente/Ergebniszusammenfassung_dena-Netzstudie.pdf, zuletzt geprüft am 03.03.2014.
- DEVAUCHELLE, N.; ALEXANDRE, J.; LE-CORRE, N.; LETTY, Y. (1987): Spawning of sole (*Solea solea*) in captivity. *Aquaculture* 66:125-147.
- DEVINNY, J.S. (1980): Effects of thermal effluents on communities of benthic marine algae. *Journal Environmental Management* 11: 225-242.

- DHI/WASY (2010): Auswirkungen der geplanten Kühlwassereinleitungen im Bereich Stade auf die Temperaturen und den Sauerstoffgehalt der Elbe. - Extrakt aus den Begleitgutachten zum Wärmelastplan Tideelbe-. Hg. v. DOW Deutschland Anlagengesellschaft mbH.
- DHI-WASY (2011): 3D-numerische Modellierung der Temperaturverteilung am geplanten Industriekraftwerk der Dow Deutschland Anlagen-Gesellschaft mbH bei Stade. Öff. Gutachten i.A. der Dow Deutschland Anlagengesellschaft mbH bei Stade. DHI-WASY, Syke, pp. 95.
- DOREL, C.; KOUTSIKOPOULOS, C.; DESAUNAY, Y.; MARCHAND, J. (1991): Seasonal distribution of young sole (*Solea solea* (L.)) in the nursery ground of the bay of Vilaine (Northern Bay of Biscay). Netherlands Journal of Sea Research 27 (3-4): 297-306.
- DOTTRENS, E. (1952): Poissons d'eau douce. II. des Siluridés aux Cyprinidés: 17. Famille des Clupéidés. Editions Delachaux et Niestlé:18-24.
- DRINKWATER, K.F. (2005): The response of Atlantic cod (*Gadus morhua*) to future climate change. ICES Journal of Marine Science 62(7): 1327-1337.
- DREWA, G. (1988): The effect of detergent ABS on shrimp Crangon crangon L. Polskie Archiwum Hydrobiologii 35: 97-108.
- DUHAMEL DU MONCEAU, H.L. (1772): Traité général des Pesches et Histoire des Poissons, Paris.
- EDGREN, M.; OLSSON, M.; REUTERGARDH, L. (1981): A one year study of the seasonal variations of sDDT and PCB levels in fish from heated and unheated areas near a nuclear power plant. Chemosphere 10 (5): 447-452.
- ELLIOTT, J. M. (1975): The growth rate of brown trout (*Salmo trutta* L.) fed on maximum rations. Journal of Animal Ecology 44: 805-821.
- ELLIOTT, J. M. (1976): Body composition of Brown Trout (*Salmo trutta* L.) in relation to temperature and ration size. Journal of Animal Ecology 45(1):273-289.
- ELLIOTT, J. M. (1981): Some aspects of thermal stress in freshwater teleosts. In: A.D. PICKERING (Ed.) Stress and Fish. Academic Press, London and New York: 209 - 245.
- ELLIOTT, J. M. (1991): Tolerance and resistance to thermal stress in juvenile Atlantic salmon. Freshwater Biology 25 (1): 61-70.
- ELLIOT, J.; ELLIOT, J. (1995): The effect of the rate of temperature increase on the critical thermal maximum for parr of Atlantic salmon and brown trout. Journal of Fish Biology 47: 917-919.
- ELLIOT, J.; ELLIOT, J. (2010): Temperature requirements of Atlantic salmon *Salmo salar*, brown trout *Salmo trutta*, and Arctic charr *Salvelinus alpinus*: predicting the effects of climate change. Journal of Fish Biology 77: 1793-1817.
- ELLIOTT, J. M. & HURLEY, M.A. (1997): A functional model for maximum growth rate of Atlantic salmon parr, *Salmo salar*, from two populations in northwest England. Functional Ecology 11: 592-603.
- ELLIOTT, M.; WHITFIELD, A. (2011): Challenging paradigms in estuarine ecology and management. Estuarine, Coastal and Shelf Science 94: 306-314.
- FARMER, G.J. (1980): Biology and physiology of feeding in adult lampreys. Can. J. Fish. Aquat. Sci. 37: 1751-1761.
- FARMER, G.J.; BEAMISH, F.W.H.; LETT, P.F. (1977): Influence of water temperature on the growth of the landlocked sea lamprey (*Petromyzon marinus*) and the associated host mortality. Journal of the Fisheries Research Board of Canada 34: 1373-1378.
- FERGUSON, R.G. (1958): The preferred temperature of fish and their midsummer distribution in temperature lakes. Journal of the Fisheries Research Board of Canada 15: 607-624.
- FISHER, K.C. & ELSON, P.F. (1956): The selected temperature of Atlantic salmon and speckled trout and the effect of temperature on the response to an electric stimulus. Physiol. Zool. 23: 27-34.
- FLORIN, A.-B.; MO, K.; SVENSSON, F.; SCHAGERSTRÖM, E.; KAUTSKY, L.; BERGSTRÖM, L. (2013): First records of Conrad's false mussel, *Mytilopsis leucophaeata* (Conrad, 1831) in the southern Bothnian Sea, Sweden, near a nuclear power plant. BioInvasionsRecords 2 (4): 303-309. DOI: 10.3391/bir.2013.2.4.07.
- FLUSSGEBIETSGEMEINSCHAFT ELBE (2013): Koordiniertes Elbemessprogramm (KEMP) 2013.
- FLUSSGEBIETSGEMEINSCHAFT ELBE (2014): Fachinformationssystem der FGG Elbe. Online verfügbar unter <http://www.elbe-datenportal.de/>, zuletzt geprüft am: 8.7.2014.
- FONDS, M. (1976): The influence of temperature and salinity on growth of young sole *Solea solea* L.. 10th European Synopsis of Marine Biology 1: 109-125.
- FONDS, M. (1979): Laboratory observations on the influence of temperature and salinity on the development of the eggs and growth of the larvae of *Solea solea*. Marine Ecology Progress Series 1: 91-99.
- FONDS, M.; VAN BUURT, G. (1974): The influence of temperature and salinity on the development and survival of goby eggs (Pisces, Gobiidae). Hydrobiological Bulletin (Amsterdam) 8: 110-116.

- FONDS, M.; CRONIE, R.; VETHAAK, A.D.; VAN DER PUYL, P. (1992): Metabolism, food consumption, and growth of plaice (*Pleuronectes platessa*) and flounder (*Platichthys flesus*) in relation to size and temperature. *Netherlands Journal of Sea Research* 29(1-3): 127-143.
- FREITAS, V.; CAMPOS, J.; FONDS, M.; VAN DER VEER, H.W. (2007): Potential impact of temperature change on epibenthic predator-bivalve prey interactions in temperate estuaries. *Journal of Thermal Biology* 32: 328-340. DOI: 10.1016/j.jtherbio.2007.04.004.
- FREYHOF, J.; KOTTELA, M. (2008): *Alosa alosa*. In: IUCN 2010. IUCN Red List of Threatened Species. Version 2010.4. Online verfügbar unter <http://www.iucnredlist.org/>, zuletzt geprüft am 24.11.2014.
- FRITSCH, A. (1894): Der Elbelachs. Eine biologisch-anatomische Studie. Prag: 114 S.
- FROESE, R. & PAULY, D. (2008): Editors. 2008.FishBase. World Wide Web electronic publication. Online verfügbar unter <http://www.fishbase.org/search.php>, version (02/2008), zuletzt geprüft am 24.11.2014.
- FROST, W.E. & BROWN, M.E. (1967): *The trout*, Collins, London, 286 pp.
- GAMPERL, A.; AFONSO, J.; CURRIE, S.; CANADA, P.; PETERSEN, L.; GOLLOCK, M. (2007): The acute temperature tolerance of Atlantic cod *Gadus morhua*: a comprehensive examination using multiple indices. *World Aquaculture Society: Meeting Abstracts* 516.
- GAUMERT, T. (2006): Interne Arbeitsunterlage der Wassergütestelle aus dem Jahr 2005/2006.
- GAUMERT, T. (1995): Spektrum und Verbreitung der Rundmäuler und Fische in der Elbe von der Quelle bis zur Mündung. - Aktuelle Befunde im Vergleich zu alten Daten -. In: Arbeitsgemeinschaft für die Reinhaltung der Elbe.
- GERKENS, K. & THIEL, R. (2001): Habitat use of age - 0 Twaited Shad (*Alosa fallax* Lacépède, 1803) in the tidal freshwater region of the Elbe river, Germany. *Bull. Fr. Pêche Piscic.* 362/363: 773-784.
- GOSS, L. B.; BUNTING, D. L. (1976): Thermal tolerance of zooplankton. *Water Research* 10 (5): 387-398. DOI: 10.1016/0043-1354(76)90056-7.
- GONZALEZ, J. C.; YEVITCH, P. P. (1971): Seasonal variation in responses of estuarine populations to heated water in the vicinity of a steam generating plant. In: *Contribution of the Department Marine Science, University of Puerto Rico* 15: 127-142.
- GONZALEZ, J. C.; YEVITCH, P. P. (1976): Response of an estuarine population of blue mussel, *Mytilus edulis* to heated water from a steam generating plant. *Marine Biology* 34: 177-189
- GRANDE, M. & ANDERSEN, S. (1991): Critical thermal maxima for young salmonids. *Journal of Freshwater Ecology* 6: 275-279.
- GRUFFYDD, L.; RIESER, R.; MACHIN, D. (1975): A comparison of growth and temperature tolerance in the larvae of the lobsters *Homarus gammarus* (L.) and *Homarus americanus* H. Milne Edwards (Decapoda, Nephropidae). *Crustaceana* 28: 23-32.
- GUNNES, K. (1979): Survival and development of Atlantic salmon eggs and fry at three different temperatures. *Aquaculture*, 16: 211-218.
- HADDERINGH, R.H.; JANSSEN-MOMMEN, J.P.M. (2000): Inventarisatie gevoeligheid oppervlakte wateren voor warmtelozingen.- Rapport in opdracht van RWS.- KEMA rapport nr. 50050786 KPS/MEC 00-6057.
- HAGERMAN, L.; SZANIAWSKA, A. (1986): Behaviour, tolerance and anaerobic metabolism under hypoxia in the brackish-water shrimp *Crangon crangon*. *Marine Ecology Progress Series* 34: 125-132.
- HAMMER, C.; ZIMMERMANN, C.; VON DORRIEN, C.; STEPPUTTIS, D.; OEBERST, R. (2009): Begutachtung der Relevanz der Auswirkung des Kühlwassers des geplanten Steinkohlekraftwerks in Lubmin auf die fischereilich genutzten marinen Fischbestände der westlichen Ostsee (Hering, Dorsch, Flunder, Scholle, Hornhecht). Endbericht für das Ministerium für Landwirtschaft, Umwelt und Verbraucherschutz Mecklenburg-Vorpommern, vertreten durch das Staatliche Amt für Umwelt- und Naturschutz Stralsund (StAUN Stralsund). Johann-Heinrich von Thünen-Institut, Bundesforschungsinstitut für Ländliche Räume, Wald und Fischerei/Institut für Ostseefischerei. Online verfügbar unter http://cms.mv-regierung.de/cms2/StALU_prod/StALU/_Downloads/Downloads_der_Amtsbereiche/Vorpommern/Immissions-_und_Klimaschutz/A1_vTI_OSF_Fischereigutachten_Endbericht%5B1%5D.pdf, zuletzt geprüft 21.11.2014.
- HARA, S.; OZONGUN, M.; GUNES, E.; CEYLAN, B. (2002): Broodstock rearing and spawning of Black Sea turbot, *Psetta maxima*. *Turkish Journal of Fisheries and Aquatic Science* 2: 9.
- HARDISTY, M.W. (1986a): General introduction to lampreys. In: *The Freshwater Fishes of Europe Vol 1/I - Petromyzontiformes*. J. HOLČÍK (Ed.), AULA-Verlag, Wiesbaden: 19-83.
- HARDISTY, M.W. (1986b): *Lampetra fluviatilis* (Linnaeus, 1758). In: *The Freshwater Fishes of Europe Vol 1/I - Petromyzontiformes*. J. HOLČÍK (Ed.), AULA-Verlag, Wiesbaden: 249-278
- HARO, A. (1991): Thermal preferenda and behavior of Atlantic eels (genus *Anguilla*) in relation to their spawning migration. *Environmental Biology of Fishes*, 31:171-184.
- HASS, H. (1968): Untersuchung über die vertikale und horizontale Verteilung der Eier der Finte, *Alosa fallax* Lac., in der Elbe. *Arch. FischWiss.* 19(1): 46-55.

- HAURY, J., OMBREDANE, D. & BAGLINIÈRE, J.L. (1999): The habitat of the brown trout (*Salmo trutta* L.) in water courses. In: Biology and Ecology of the Brown and Sea Trout. J.L. Baglinière & G. Maise (Eds.), Springer Verlag Berlin Heidelberg New York: 37 – 89.
- HESTHAGEN, I.H. (1979): Temperature selection and avoidance in the sand goby *Pomatoschistus minutus* (Pallas), collected at different seasons. *Environmental Biology of Fishes* 4(4): 369-377.
- HIRAYAMA, K.; HIRANO, R. (1970): Influence of high temperature and residual chlorine on marine phytoplankton. *Marine Biology* 7: 205-213.
- HOAGLAND, K. E.; TURNER, R. D. (1980): Range extensions of Tereidids (Shipworms) and Polychaetes in the vicinity of a temperate-zone nuclear generating station. *Marine Biology* 58: 55–64.
- HOCHLEITNER, M. (1996): Störe – Verbreitung, Lebensweise, Aquakultur. Österreichischer Agrarverlag, Klosterneuburg, 202 S.
- HOCHLEITNER, M. (2002): Die Quappe (*Lota lota* L.) - Biologie und Aquakultur. In: Die Quappe (*Lota lota*)-Fisch des Jahres 2002. Hrsg. Verband Deutscher Sportfischer e.V., Offenbach am Main, S.23-37.
- HOLČÍK, J., BĂNĂRESCU, P. & EVANS, D. (1989): General Introduction to Fishes. In: The Freshwater Fishes of Europe Vol 1/II - General Introduction to Fishes, Acipenseriformes. J. HOLČÍK (Ed.), AULA-Verlag, Wiesbaden:18-147.
- HOLMES, J.A.; LIN, P. (1994): Thermal niche of Larval Sea Lamprey, *Petromyzon marinus*. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 51(2): 253-262.
- HUMPESCH, U.H. (1985): Inter- and intra-specific variation in hatching success to improved management-related research. *Transaction of the American Fisheries Society*, 105: 361-364.
- HUSSAIN, K. J.; MOHANTY, A. K.; SATPATHY, K. K.; PRASAD, M. V. R. (2010): Abundance pattern of wedge clam *Donax cuneatus* (L.) in different spatial scale in the vicinity of a coastal nuclear power plant. *Environ. Monit. Assess.* 163 (1-4): 185–194. DOI: 10.1007/s10661-009-0826-8.
- HUTCHINSON, P.; MILLS, D.H. (1987): Characteristics of spawning-run smelt, *Osmerus eperlatus* (L.), from a Scottish river, with recommendations for their conservation and management. *Aquaculture Research* 18(3): 249-258.
- IBL (2008): Potenziale zur Kühlwassernutzung am Kraftwerksstandort Wilhelmshaven, Gewässerökologisches Gutachten. Rev.2.2. Online verfügbar unter <http://ris.wilhelmshaven.de:8080/ratsinfo/wilhelmshaven/516/RjExX0ICTF9HT0VHX0VuZGJlcmJjaHRfIDMwLTAxLTlwMDhfRkIOQUwga29yci5wZGY=/12/n/5953.doc>, zuletzt geprüft am 15.03.2014.
- IHK-Nord (2012): Kraftwerke in Norddeutschland - Eine Übersicht erstellt im Auftrag der IHK Nord. 6 Seiten. Online verfügbar unter http://www.ihk-nord.de/linkableblob/ihknord/downloads/2155184/3./data/20121121_Kraftwerkslandkarte_2012-data.pdf, zuletzt geprüft am 27.2.2014.
- IKONEN, E. (1982): Migration of river-spawning whitefish in the Gulf of Finland. *Finn. Fish. Res.* 4: 40-45.
- IKSE (2005): Die Elbe und ihr Einzugsgebiet. Internationale Kommission zum Schutz der Elbe. Magdeburg. 258 S., URL: <http://www.ikse-mkol.org/index.php?id=210>, zuletzt geprüft am 25.3.2014.
- IMSLAND, A.; FOSS, A.; NAEVDAL, G.; CROSS, T.; BONGA, S.; HAM, E.; STEFANSSON O. (2000): Counter gradient variation in growth and food conversion efficiency of juvenile turbot. *Journal of Fish Biology* 57: 1213-1226.
- INGLETON, T.; MCMINN, A. (2012): Thermal plume effects: A multidisciplinary approach for assessing effects of thermal pollution on estuaries using benthic diatoms and satellite imagery. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 99: 132–144.
- IRVIN, D.N. (1973): Temperature tolerance of early development stages of Dover sole, *Solea solea* (L.). *Proceedings of an International Symposium on the Early Life History of Fish: Dunstaffnage Marine Research Laboratory, Oban, Scotland May 17-23: 449-463.*
- JAVOID, M.Y. & ANDERSON, J.M. (1967a): Influence of starvation on selected temperature of some salmonids. *J. Fish. Res. Board Can* 24: 1515-1519.
- JAVOID, M.Y. & ANDERSON, J.M. (1967b): Thermal acclimation and temperature selection in Atlantic salmon, *Salmo salar* and rainbow trout, *S. gairdneri*. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada* 24: 1507-1513.
- JOBLING, M. (1981): Temperature preference and thermal preferendum - rapid methods for assessing optimum growth temperatures. *Journal of Fish Biology* 19: 439–455.
- JONES, A. (1972): Studies on egg development and larval rearing of turbot, *Scophthalmus maximus* L., in the laboratory. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom* 52: 956-986.
- JONES, S.J.; MIESZKOWSKA, N.; WETHEY, D. S. (2009): Linking thermal tolerances and biogeography: *Mytilus edulis* (L.) at its southern limit on the east coast of United States. *Biological Bulletin* 217: 73–85. Online verfügbar unter <http://www.biolbull.org/content/217/1/73.full.pdf+html>, zuletzt geprüft am 24.11.2014.
- JONES, D.; MILLER, P.J. (1966): Seasonal migration of the common Goby, *Pomatoschistus microps* (Kroyer), in Morecombe Bay and elsewhere. *Hydrobiologia* 27 (3-4): 515-528.

- JONSSON, B.; JONSSON, N. (2009): A review of the likely effects of climate change on anadromous Atlantic salmon *Salmo salar* and brown trout *Salmo trutta*, with particular reference to water temperature and flow. *Journal of Fish Biology* 75(10): 2381-2447.
- JORDAAN, A.; KLING, L. (2003): Determining the optimal temperature range for Atlantic cod (*Gadus morhua*) during early life. *Proceedings of the 26th Annual Larval Fish Conference, 2003*. Institute of Marine Research :Norway.
- KAILASAM, M.; SIVAKAMI, S. (2004): Effect of thermal effluent discharge on benthic fauna off Tuticorin bay, south east coast of India. *Indian Journal of Marine Science* 33 (2):. 194–201.
- KAUSCH, H.; HINZ, V. (1984): Die Beeinflussung der Gewässergütesituation in der Billwerder Bucht bei Kühlwassereinleitung durch das Kraftwerk Tiefstack. Unveröff. Gutachten i.A. HEW, Hamburg (Inst. Hydrobiol. & Fisch.Wiss.- Hydrobiol. Abtlg., Univ. Hamburg).
- KENNEDY, M.; FRITZMAURICE, P. (1972): The biology of the Bass *Dicentrarchus labrax*, in Irish Waters. *Journal of Marine Biology* 52: 557-597.
- KESKINEN, T.; PULKKANEN, M.; HUTTULA, T.; KARJALAINEN, J. (2009): Vulnerability assessment of ecosystem service for climate change impacts and adaptation (VACCIA): Action 10: Assessment of impacts and adaptation of fisheries production and wash off effects in Lake Päijänne. Online verfügbar unter <http://www.syke.fi/download/noname/%7BC2CDCE41-B729-413D-9E75-E8B3DB826970%7D/44687>, zuletzt geprüft 17.11.2014.
- KING, D.P.F.; ROBERTSON, A.A.; SHELTON, P.A. (1978): Laboratory observations on the early development of the anchovy *Engraulis capensis* from the Cape Peninsula. *Fisheries Bulletin of South Africa* 10: 37-45.
- KIRCHHOFER, A. (1995): Schutzkonzept für Bachneunaugen (*Lampetra planeri*) in der Schweiz. *Fischökologie* 8: 93-105.
- KIRSCHBAUM, F. & GESSNER, J. (2001): Zur Biologie der Störe, In: *Der Stör (Acipenser sturio L.) Fisch des Jahres 2001*, Hrsg. Verband Deutscher Sportfischer e.V., Offenbach: 7-14.
- KLEIN-BRETELER, I.P.H.M. (1983): Opkomst van de houtingachtigen in de Nederland? *Visserij* 36 (3): 168-181.
- KOM (2010): KOM-Beschluss 2010/477/EU. Online verfügbar unter <http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:232:0014:0024:DE:PDF>, zuletzt geprüft am 24.11.2014.
- KRIEG, A., OESMANN, S., STILLER, G. (2010): Literaturstudie zu den Auswirkungen von Kühlwasserentnahme und -einleitung auf das aquatische Milieu des Elbeästuars- unter besonderer Berücksichtigung von Biomasseschädigungen des Phytoplanktons, des Zooplanktons und der Fischeier und Fischlarven sowie die Folgen auf den Sauerstoffgehalt - Koordinierungsraum Tideelbe. Hg. v. Auftraggeber: KOR-TEL.
- KRIEG, A. (2011): Original - Fachbeitrag Hydrobiologie – Phytoplankton und benthische Wirbellosenfauna;. G02-08-2-Original, Status quo, Bewertung und Auswirkungsprognose durch die geplante Kühlwasserentnahme und Kühlwassereinleitung Endfassung - Vers. 02_11. vom 14.7.2011 Auftraggeber Dow Deutschland GmbH & Co. OHG Werk Stade.
- KRÖNCKE, I.; NEUMANN, H.; REISS, H.; SCHÜCKEL, U. (2011): Wie reagieren die Benthosgemeinschaften der offenen Nordsee auf die globale Erwärmung. In: J. Lozan, L. Karbe, H. Graßl und K. Reise (Hg.): *Warnsignal Klima: Die Meere - Änderungen & Risiken - Wissenschaftliche Fakten*, S. 183–188. Online verfügbar unter <http://www.warnsignale.uni-hamburg.de/wp-content/uploads/2013/02/Kroencke.pdf>, zuletzt geprüft am 22.05.2014.
- LACHANCE, S., MAGNAN, P. & FITZGERALD, G.J. (1987): Temperature preferences of three sympatric sticklebacks (Gasterostidae). *Can. J. Zool.* 65: 1573-1576.
- LAINE, A.; MATTILA J.; LEHIKONEN, A. (2006): First record of the brackish water dreissenid bivalve *Mytilopsis leucophaeata* in the northern Baltic Sea. *Aquatic Invasions* 1 (1), 38–41. DOI: 10.3391/ai.2006.1.1.9.
- LAM, T. J. (1983): Environmental influences on gonadal activity. In: *Fish Physiology - Reproduction, Part B: Behaviour and fertility control*. W. S. HOAR, D. J. RANDELL & E. M. DONALDSON (Eds.), Academic Press, New York and London: 65-116.
- LANGFORD, T. E.; HAWKINS, S. J.; BRAY, S.; HILL, C.; WELLS, N.; YANG, Z. (1998): Pembroke Power Station: impact of cooling water discharge on marine biology of Milford Haven. *CCW Contract Science Report 302*. Countryside Council for Wales, 156pp.
- LANGFORD, T.E.L. (1990): *Ecological effects on thermal discharges*. London, New York: Elsevier Applied Science. 468 S.
- LARSSON, S. (2005): Thermal preference of Arctic charr, *Salvelinus alpinus*, and brown trout, *Salmo trutta*, - implications for their niche segregation. *Environmental Biology of Fishes* 73:89-96.
- LEBLANC, N.; LANDRY, T.; DAVIDSON, J.; TREMBLAY, R.; MCNIVEN, M. (2010): The Effect of Elevated Water Temperature Stress on the Mussel *Mytilus edulis* (L.) Survival and Genetic Characteristics. *Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences: 2900*,vii. Online verfügbar unter <http://www.dfo-mpo.gc.ca/Library/342035.pdf>, zuletzt geprüft am 17.03.2014.
- LEBLANC, N.; LANDRY, T.; STRYHN, H.; TREMBLAY, R.; MCNIVEN, M.; DAVIDSON, J. (2005): The effect of high air and water temperature on juvenile *Mytilus edulis* in Prince Edward Island, Canada. *Aquaculture* 243 (1-4):185–194. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2004.09.035.
- LEINER, M. (1934): Beiträge zur ontogenetischen Entwicklung der drei europäischen Stichlingsarten und ihrer Kreuzungsprodukte. *Z.wiss.Zool.* 145: 366-388.

- LOOTS, C.; VAZ, S.; PLANQUE, B.; KOUBBI, P. (2011): Understanding what controls the spawning distribution of North Sea whiting (*Merlangius merlangus*) using a multi-model approach. *Fisheries Oceanography* 20(1): 18-31.
- LYLE, A.A.; MAITLAND, P.S. (1997): The spawning migration and conservation of smelt *Osmerus eperlatus* in the River Cree, southwest Scotland. *Biological Conservation* 80(3): 303-311.
- MACEY, D.J. & POTTER, I.C. (1978): Lethal temperatures of ammocoetes of the Southern Hemisphere lamprey, *Geotria australis* Gray. *Env. Biol. Fish.* Vol. 3 (2): 241-243.
- MACFARLAND, W. E. (1931). A study of the Bay of Fundy herring. *Ann. Rept. Biol. Board Canada for 1930*: 23-24.
- MACHIAS, A.; SOMARAKIS, S.; TSIMENIDES, N. (1998): Bathymetric distribution and movements of red mullet *Mullus surmuletus*. *Marine Ecology Progress Series* 166: 247-257.
- MAGNUSON, J. J.; CROWDER, L. B.; MEDVICK, P. A. (1979): Temperature AS an ecological resource. *American Zoologist* 19: 331-343.
- MANTELMANN, J.J. (1958): Distribution of the young of certain species of fish in temperature gradients. *Izv. Vses. Neuchno-Issled Inst. ozern. Recbr. Ryb. Khoz.* 47:3-61 (Translated from russian by Fish. Res. Can., Transl. Ser. No. 257, 1960).
- MARAVELIAS, C.D.; TSITSIKA, E.V.; PAPAConstantinou, C. (2006): Environmental influences on the spatial distribution of European hake (*Merluccius merluccius*) and red mullet (*Mullus barbatus*) in the Mediterranean. *Ecological Research* 22(4): 678-685.
- MCCAULEY, R.W. (1963): Lethal temperatures of the developmental stages of the sea lamprey, *Petromyzon marinus* L. *J. Fish. Res. Board Can.* 20: 483-490.
- MEIßNER, K.; BOCKHOLD, J.; SORDYL, H. (2007): Problem Kabelwärme? - Vorstellung der Ergebnisse von Felduntersuchungen der Meeresbodentemperatur im Bereich der elektrischen Kabel im dänischen Offshore-Windpark Nysted Havmöllepark (Dänemark). In: Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie, Hamburg (Hg.): Meeresumwelt-Symposium 2006, S. 153-161. Online verfügbar unter http://www.bsh.de/de/Das_BSH/Veranstaltungen/MUS/PDF/Symposium_2006_Internet.pdf, zuletzt geprüft am 20.11.2014
- MEYER, T.; NEHRING, S. (2006): Anpflanzung von Seegrasswiesen (*Zostera marina*, L.) als interne Maßnahme zur Restaurierung der Ostsee. *Rostock. Meeresbiol. Beitr.* 15: 105-119.
- MILLS, D.H. (1971): *Salmon and Trout Resources, its Ecology, Conservation and Management*. Oliver & Boyd, Edinburgh, 351pp.
- MORGAN, I. J. & METCALFE, N. B. (2001): The influence of energetic requirements on the preferred temperature of overwintering juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 58(4): 762-768.
- MUKHOPADHYAY, M. K.; GHOSH, B. B.; BAGCHI, M. M. (1987): Preliminary observations on the impact of some industrial wastes on prawn fisheries of Hoogly estuary. *Journal Indian Society Coastal Agricultural Research* 5: 293-296.
- MUUS, B.J.; DAHLSTRÖM, P. (1978a) Süßwasserfische Europas, 4. Aufl., München, Bern, Wien: BLV Verlagsgesellschaft; ISBN 3-405-11867-0.
- MUUS, B.J.; DAHLSTRÖM, P. (1978b) Meeresfische der Ostsee, der Nordsee, des Atlantiks, 4. Aufl., München, Bern, Wien: BLV Verlagsgesellschaft; ISBN 3-405-11861-0.
- NAYLOR, E. (1965): Effects of heated effluents upon marine and estuarine organisms. *Advances in Marine Biology* 3: 63-103.
- NEAL, K. (2008): *Crangon crangon*, Brown shrimp. Marine Life Information Network: Biology and Sensitivity Key Information Sub-programme [on-line]. Plymouth: Marine Biological Association of the United Kingdom. Online verfügbar unter <http://www.marlin.ac.uk/speciesfullreview.php?speciesID=3078>, zuletzt geprüft am 27.05.2014.
- OECS (2012): Umweltverträglichkeitsstudie zum Offshore-Windpark Ostseeschatz. Online verfügbar unter <http://www.naturvardsverket.se/upload/stod-i-miljoarbetet/remisser-och-yttranden/tidigare/remisser-2013/esbo/osterseeschatz/osterseeschatz-mkb-tysk.130327.pdf>, zuletzt geprüft am 21.11.2014.
- OJAVEER, E. (1981): Influence of temperature, salinity, and reproductive mixing of Baltic herring groups on its embryonic development. *Rapports et Procès-Verbaux des Réunions du Conseil International pour l'Exploration de la Mer* 178: 409-415.
- OJANGUREN, A.; REYES-GAVILAN, F.; BRANA, F. (2001): Thermal sensitivity of growth, food intake and activity of juvenile brown trout. *Journal of Thermal Biology* 26: 165-170.
- OJANGUREN, A.; BRANA, F. (2003): Thermal dependence of embryonic growth and development in brown trout. *Journal of Fish Biology* 62: 580-590.
- OSPAR COMMISSION (2009): Assessment of the environmental impacts of cables (ISBN 978-1-906840-77-8, Publication Number: 437/2009).
- OSPAR COMMISSION (2012): Guidelines on Best Environmental Practice (BEP) in Cable Laying and Operation. (Agreement 2012-2). OSPAR 12/22/1, Annex 14.
- OTTERLEI, E.; NYHAMMER, G.; FOLKVORD, A.; STEFANSSON, S. (1999): Temperature and size-dependant growth of larval and early juvenile cod. *Gadus morhua* – a comparative study between Norwegian coastal cod and northeast Arctic cod. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 56: 2099-2111.

- OTTO, S. A.; ZAHN, S. (2008): Literaturrecherche, Temperatur-und Sauerstoff-Toleranz ausgewählter Wanderfischarten der Elbe. Bearbeitung Institut für Binnenfischerei e.V. Potsdam-Sacrow, Potsdam, Auftraggeber Wassergütestelle Elbe, Hamburg, zuletzt geprüft am 17.04.2014.
- PAEPKE, H.J. (1996): Die Stichlinge. Westarp Wissenschaften, Magdeburg, 175 S.
- PALGAN, K.; DREWA, G.; ZBYTNIIEWSKI, Z. (1988): Influence of light, heavy and crude oil on the mortality of shrimps *Crangon crangon* L. under laboratory conditions. Kieler Meeresforschungen, Sonderheft 6: 448–453.
- PEARSON, T. H.; BARNETT, P.R.O. (1987): Long term changes in benthic populations in some western European coastal areas. *Estuaries*10 (3): 220–226.
- PENTELOW, F.T.K. (1939): The relation between growth and food consumption in the brown trout (*Salmo trutta*). *J. exp. Biol.* 16(4): 446-473.
- PETEREIT, C.; HASLOB, H.; KRAUS, G.; CLEMMESSEN, C. (2008): The influence of temperature on the development of Baltic Sea sprat (*Sprattus sprattus*) eggs and yolk sac larvae. *Marine Biology* 154(2): 295-306.
- PETERSEN, M.; STEFFENSEN, J. (2003): Preferred temperature of juvenile Atlantic cod *Gadus morhua* with different haemoglobin genotypes at normoxia and moderate hypoxia. *Journal of Experimental Biology* 206: 359-364.
- PETERSON, M.; SPINNEY, H.; STREEDHARAN, A. (1977): Development of Atlantic Salmon (*Salmo salar*) egg and alevin under varied temperature regimes. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada* 34: 31-43.
- PETITGAS, P. (2008): RECLAIM: Resolving CLimAtic Impacts on fish stocks – SpecificTargeted Research Project on ‘Modernisation sustainability of fisheries, including aquaculture-based production systems’ 1.6 Report of WP1Chapter 13 – Anchovy. IFREMER, Nantes, France. Online verfügbar unter <http://www.climateandfish.eu/default.asp?ZNT=SOT1O-1P187>, zuletzt geprüft am 24.11.2014.
- PLANQUE, B.; BELLIER, E.; LAZURE, P. (2007): Modelling potential spawning habitat of sardine (*Sardina pilchardus*) and anchovy (*Engraulis encrasicolus*) in the Bay of Biscay. *Fisheries Oceanography* 16(1): 16-30.
- POJE, G. V.; RIORDAN, S. A.; O’CONNOR, J. M. (1981): Power plant entrainment simulation utilizing a condenser tube simulator. Hg. v. US Nuclear Regulatory Commission Report NUREG/CR-2091 RE.
- POMBO, L.; ELLIOT, M.; REBELO, J. (2005): Ecology, age and growth of *Atherina boyeri* and *Atherina presbyter* in the Ria de Aveiro, Portugal. *Cybernetica* 29(1): 47-55.
- POPHOF, B.; GESCHWENTNER, D. (2013): Umweltauswirkungen der Kabelanbindung von Offshore-Windenergieparks an das Verbundstromnetz Effekte betriebsbedingter elektrischer und magnetischer Felder sowie thermischer Energieeinträge in den Meeresgrund. Bundesamt für Strahlenschutz (BfS-SG-18/13). Online verfügbar unter https://doris.bfs.de/jspui/bitstream/urn:nbn:de:0221-2013022510313/3/BfS-SG-18-13_OffshoreKabel_2013.pdf, zuletzt geprüft am 03.03.2014.
- PÖRTNER, H. O. (2002): Climate variations and the physiological basis of temperature dependent biogeography: systemic to molecular hierarchy of thermal tolerance in animals. *Comparative Biochemistry and Physiology A* 132: 739–761.
- POTTER, I.C.; BEAMISH, F.W.H. (1975): Lethal Temperatures in Ammocoetes of Four Species of Lampreys. *Acta Zoologica* 56(1): 85-91.
- POXTON, M. G. (1991): Incubation of salmon eggs and rearing of alevins: Natural temperature fluctuations and their influence on hatchery requirements. *Aquacultural Engineering* 10: 31-53.
- POWER, M.; ATTRILL, M.J. (2002): Factors affecting long-term trends in the estuarine abundance of Pogge (*Agonus cataphractus*). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 54(6): 941-949.
- POWER, M.; ATTRILL, M.J. (2003): Long-term trends in the estuarine abundance of Nilsson’s pipefish (*Syngnathus rostellatus* Nilsson). *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 57(1-2): 325-333.
- POWER, M.; ATTRILL, M.J.; THOMAS, R.M. (2000): Temporal abundance patterns and growth of juvenile herring and sprat from the Thames estuary 1977-1992. *Journal of Fish Biology* 56(6): 1408-1426.
- Projektgruppe Wärmelastplan Tideelbe (2008): Wärmelastplan für die Tideelbe. Online verfügbar unter <https://www.kuestendaten.de/publikationen/Datencontainer/P/08WaelmelastplanTideelbe.pdf>, zuletzt geprüft am 24.11.2014.
- QUIGNARD, J.P. & DOUCHEMENT, C.L. (1991a): *Alosa alosa*. In: The Freshwater Fishes of Europe Vol. 2 - Clupidae, Anguillidae, H. HOESTLAND (Ed.), AULA-Verlag, Wiesbaden: 89-126.
- QUIGNARD, J.P. & DOUCHEMENT, C.L. (1991b): *Alosa fallax fallax*. In: The Freshwater Fishes of Europe Vol. 2 - Clupidae, Anguillidae, H. HOESTLAND (Ed.), AULA-Verlag, Wiesbaden: 225-253.
- RAYMENT, W. (2008): *Fabulina fabula*. Bean-like tellin. Marine Life Information Network: Biology and Sensitivity Key Information Sub-programme [on-line]. Plymouth: Marine Biological Association of the United Kingdom. [cited 14/11/2014]. Online verfügbar unter <http://www.marlin.ac.uk/speciesfullreview.php?speciesID=3329>, zuletzt geprüft am 10.11.2014.
- READ, K.R.H.; CUMMING, K. B. (1967): Thermal tolerance of the bivalve molluscs *Modiolus modiolus* L., *Mytilus edulis* L. and *Brachidontes demissus* Dillwyn. *Comparative Biochemistry and Physiology* 22: 149–155.

- REID, R.N., CARGNELLI, L.M., GRIESBACH S.J., PACKER, D. B., JOHNSON, D. L., ZETLIN, C. A., MORSE, W. W. & BERRIEN P. L. (1999): Essential Fish Habitat Source Document: Atlantic Herring, *Clupea harengus*, Life History and Habitat Characteristics. NOAA Technical Memorandum NMFS-NE-126, U. S. DEPARTMENT OF COMMERCE, National Oceanic and Atmospheric Administration, Massachusetts, USA, 48p.
- REUSCH, T. (2005): Genetisch diverse Populationen trotz dem Klimawandel - experimentelle Erkenntnisse aus Seegraswiesen. Max-Planck-Gesellschaft, Tätigkeitsbericht, 361–365.
- REYNOLDS, W.W.; CASTERLIN, M.E. (1978): Behavioural thermoregulation by ammocoete larvae of the sea lamprey (*Petromyzon marinus*) in an electric shuttle box. *Hydrobiologia* 61: 145-147.
- RIEDEL-LORJÉ, J. C. (1994): Analyse der hydrobiologischen Beweissicherungs-Messungen 1984-1993 für das Kernkraftwerk Brokdorf, Elbe. - Unveröffentlichtes Gutachten i. A. Amt für Land- und Wasserwirtschaft Itzehoe.- Inst. f. Frischwasser, Hamburg, pp.144.
- RIERA, R.; NUNEZ, J.; MARITIN, D. (2011): Effects of thermal pollution on the soft-bottoms surrounding a power station in the Canary Islands (NE Atlantic Ocean). *Oceanology* 51 (6): 1040–1046.
- RITCHIE, J. (1927): Report on the prevention of the growth of mussels in submarine shafts and tunnels at Westbank Electricity Station, Portobello. In: Transactions of the Royal Scottish Society of Arts 19, S. 1–20.
- RODRIGUEZ-MUNOZ, R.; NICEIZA, A.; BRANA, F. (2001): Effects of temperature on developmental performance, survival and growth of sea lamprey embryos. *Journal of Fish Biology* 58:475-486.
- RØED, K. H. (1979): Temperature preference of the 3-spined stickleback, *Gasterosteus aculeatus* L. (Pisces), collected at different seasons. *Sarsia* 64: 137-141.
- ROSENTHAL, H. & MUNRO, A.L.S. (1985): Der aquatische Lebensraum, Umweltbedingungen in natürlichen Gewässern und Aquakulturen. In: Grundlagen der Fischpathologie. R.J. ROBERTS & H.J. SCHLOTFELDT, Berlin und Hamburg: 1 - 22.
- ROULE, L. (1923): Les Poissons des eaux douces de la France. Presses Universitaires de France, Paris. 228pp.
- SAAT, T.; VEERLASU, A. (1996): Duration of synchronous cleavage cycles and rate of development at different temperatures in the Baltic herring. *Journal Fish of Biology* 48:658-663.
- SABATINI, M.; PIZZOLLA, P.; WILDING, C. (2008): *Arctica islandica*. Icelandic cyprine. Marine Life Information Network: Biology and Sensitivity Key Information Sub-programme [on-line]. Plymouth: Marine Biological Association of the United Kingdom. Online verfügbar unter <http://www.marlin.ac.uk/speciesfullreview.php?speciesID=2588>, zuletzt geprüft am 27.05.2014.
- SADLER, K. (1979): Effects of temperature on the growth and survival of the European eel, *Anguilla anguilla* L. *Journal of Fish Biology* 15 (4): 499–507.
- SCHEFFEL, H.J. (1999): Die Biologie des Nordseeschnäpels. In: Der Nordseeschnäpel - Fisch des Jahres 1999. Verband Deutscher Sportfischer e.V. (Hrsg.): 12-37.
- SCHÜCKEL, U.; KRÖNCKE, I. (2013): Temporal changes in intertidal macrofauna communities over eight decades: A result of eutrophication and climate change. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 117: 210–218. DOI: 10.1016/j.ecss.2012.11.008.
- SCHÜTTRUMPF, H.; RAHLF, H. (2006): Ausbreitung einer Kühlwasserfahne unter Tideeinfluss. In: Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen 32: 211–218.
- SIMS, D.; WEARMOUTH, V.; GENNER, M.; SOUTHWARD, A.; HAWKINS, S. (2004): Low-temperature-driven early spawning migration of a temperate marine fish. *British Ecological Society* 73(2): 333-341.
- SJÖBERG, K. (1974): Lektid rörelsaktivitet och löngd/vikt hos flodnejönöga. *Zool. Revy* 36: 41-47.
- SOLOMON, D.J. (1978): Some observations on salmon smolt migration in a chalk stream. *Journal of Fish Biology* 12(6): 571-574.
- SOMERO, G. N.; HOFMANN, G. E. (1997): Temperature thresholds for protein adaptation: when does temperature start to 'hurt'? In: C. M. Wood und D. G. McDonald (Hg.): Global warming: implications for freshwater and marine fish. (Ed. Wood, C.M. and McDonald, D.G.) Cambridge, UK: Cambridge University Press, S. 1–24.
- SOMMER, A.; KLEIN, B.; PÖRTNER, H. O. (1997): Temperature induced anaerobiosis in two populations of the polychaete worm *Arenicola marina* (L.). *J. Comp. Physiol. B, Biochem.* 167: 25–35.
- SPENCER, J. F. (1970): Diurnal and seasonal temperature changes in littoral soil on Pwllchrochan Flats, Milford Haven, in relation to Pembroke Power Station. CEBG Internal Report No. RD/L/R/1641. Hg. v. Central Electricity Research Laboratories, Leatherhead, UK.
- SPIGARELLI, S.; THOMMES, M.; PREPEJCHAL, W.; GOLDSTEIN, R.M. (1983): Selected temperatures and thermal experiences of brown trout, *Salmo trutta*, in a steep thermal gradient in nature. *Environmental Biology of Fishes* 8(2): 137-149.
- STRAUGHAN, D. (1980): The impact of shoreline thermal discharge on rocky intertidal biota. Southern California Edison Company Research and Development Series, 81-RD-3.
- SWIFT, D.R. (1961): The annual growth-rate cycle in brown trout (*Salmo trutta* L.) and its cause. *J. exp. Biol.* 38: 595-604.

- TASKER, M.L.; AMUNDIN, M.; ANDRE, M.; HAWKINS, A.; LANG, W.; MERCK, T.; SCHOLIK-SCHLOMER, A.; TEILMANN, J.; THOMSEN, F.; WERNER, S.; ZAKHARIA, M. (2010): Marine Strategy Framework Directive Task Group 11 (2010) - Report Underwater noise and other forms of energy. Prepared under the Administrative Arrangement between JRC and DG ENV (no 31210 – 2009/2010), Ed. N. Zampoukas. Online verfügbar unter <http://ec.europa.eu/environment/marine/pdf/10-Task-Group-11.pdf>, zuletzt geprüft am 21.11.2014.
- THERRIAULT, T. W. (2011): Global invasive species database, Factsheet: *Mytilopsis leucophaeata*. Online verfügbar unter <http://www.issg.org/database/species/ecology.asp?si=707&fr=1&sts=sss&lang=EN>, zuletzt geprüft am 24.11.2014.
- THOMSEN, M. S. (2011): Global invasive species database, Factsheet: *Gracilaria vermiculophylla*. Online verfügbar unter <http://www.issg.org/database/species/ecology.asp?si=1698&fr=1&sts=sss&lang=EN>, zuletzt geprüft am 24.11.2014.
- TSUCHIYA, M. (1983): Mass mortality in a population of the mussel *Mytilus edulis* L. cause by high temperature on rocky shores. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology* 66: 101–111.
- TUNNAINEN, P., IKONEN, E. & AUVINEN, H. (1980): Lampreys and lamprey fisheries in Finland. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 37: 1953–1973.
- TURNPENNY, A.W.H.; BAMBER, R.N.; HENDERSON, P.A. (1981): Biology of the sand-smelt (*Atherina presbyter* Valenciennes) around Fawley Power Station. *Journal Fish of Biology* 18: 417–427.
- TURNPENNY, A.W.H.; COUGHLAN, J.; LINEY, K. E. (2006): Review of temperature and dissolved oxygen effects on fish in transitional water. Environment agency report.
- TURNPENNY, A.W.H.; LINEY, K. E. (2007): Review and development of temperature standards for marine and freshwater environments. Scotland and Northern Ireland Forum for Environmental Research. Online verfügbar unter <http://infrastructure.planningportal.gov.uk/wp-content/ipc/uploads/projects/EN010001/2.%20Post-Submission/Application%20Documents/Environmental%20Statement/4.20%20-%20Annex%208%20-%20References/REFERENCED%20REPORTS/HPC-NNBPEA-XX-000-RET-000200.pdf>, zuletzt geprüft am 18.03.2014.
- TYLER-WALTERS, H. (2003): *Obelia longissima*. A hydroid. Marine Life Information Network: Biology and Sensitivity Key Information Sub-programme [on-line]. Plymouth: Marine Biological Association of the United Kingdom. Online verfügbar unter <http://www.marlin.ac.uk/speciesfullreview.php?speciesID=3926>, zuletzt geprüft am 27.05.2014.
- TYLER-WALTERS, H. (2005): *Zostera noltii*. Dwarf eelgrass. Marine Life Information Network: Biology and Sensitivity Key Information Sub-programme [on-line]. Plymouth: Marine Biological Association of the United Kingdom. Online verfügbar unter <http://www.marlin.ac.uk/speciesfullreview.php?speciesID=4601>, zuletzt geprüft am 27.05.2014.
- TYLER-WALTERS, H. (2008a): *Arenicola marina*. Blow lug. Marine Life Information Network: Biology and Sensitivity Key Information Sub-programme Plymouth: Marine Biological Association of the United Kingdom. [cited 14/11/2014]. Online verfügbar unter <http://www.marlin.ac.uk/speciesfullreview.php?speciesID=2592>, zuletzt geprüft am 10.11.2014.
- TYLER-WALTERS, H. (2008b): *Zostera marina*. Common eelgrass. Marine Life Information Network: Biology and Sensitivity Key Information Sub-programme [on-line]. Plymouth: Marine Biological Association of the United Kingdom. Online verfügbar unter <http://www.marlin.ac.uk/speciesfullreview.php?speciesID=4600>, zuletzt geprüft am 27.05.2014.
- TYLER-WALTERS; HISCOCK, K. (2005): Impact of human activities on benthic biotopes and species. Hg. v. Report to Department for Environment, Food and Rural Affairs from the Marine Life information Network (MarLIN). Plymouth, Marine Biological Association of the UK.
- VADAS, R.L.; KESER, M.; RUSANOWSKI, P.C. (1976): Influence of thermal loading on the ecology of intertidal algae, pp.202-212 in Esch and McFarlane (Eds).
- VAN DIJK, P.L.M.; TESCH, C.; HARDEWIG, I.; PÖRTNER, H.O. (1999): Physiological disturbances at critically high temperatures: A comparison between stenothermal antarctic and eurythermal temperate eelpouts (*Zoaridae*). *Journal of Experimental Biology* 202: 3611–3621.
- VARLEY, M. E. (1967): *British Freshwater Fishes - Factors Affecting their Distribution*. London: Fishing News (Books) Limited.
- VERWEEN, A.; KERCKHOFF, F.; VINCX, M.; DEGRAER, S. (2006): First European record of the invasive brackish water clam *Rangia cuneata* (G.B. Sowerby I, 1831) (Mollusca: Bivalvia). *Aquatic Invasions* 1 (4): 198–203, zuletzt geprüft am 05.05.2014.
- VINCENT, P.J.B. (1894): Notes sur l'Alose (3 parties). *Rev. Marit. Et coloniale* 122: 667–681; 123: 193–205; 124: 445–451
- VISSCHER (2003): Bericht über Temperaturmessungen der Jade – August bis November 2002; Oktober 1993 bis September 1994. (unveröffentlicht)
- VOBACH, M.; FELDT, W. W. (1991): Auswirkungen der Abwasserwärme des Kernkraftwerkes Unterweser (KKU) auf die Biozönosen der Unterweser. Teil III: Abschlussbericht. *Berichte aus dem Isotopenlaboratorium der BFA für Fischerei, Hamburg* 7: 1–80.
- WAEDE, M. (1954): Beobachtungen zur osmotischen, chemischen und thermischen Resistenz von Scholle und Flunder (*Pleuronectes platessa* und *Platichthys flesus*). *Kieler Meeresforsch.* 10:58–67.
- WAHL, E.; ALHEIT, J. (1988): Changes in the distribution and abundance of sprat eggs during spawning season. *ICES C.M.* 1988/H:45.
- WALLIS, R. L. (1975): Thermal tolerance of *Mytilus edulis* of eastern Australia. *Marine Biology* 30: 183–191.

- WALTERS, G. J. (1977): An ecology study of *Hydrobia ulvae* (Pennant) in the Medway Estuary, including the possible influence of Power-Station War-Water Effluent. PhD Thesis, University of London, London.
- WATERMANN, F. HILLEBRAND, H.; GERDES, G.; KRUMBEIN, W. E.; SOMMER, U. (1999): Competition between benthic cyanobacteria and diatoms as influenced by different grain sizes and temperatures. Marine Ecology Progress Series 187: 77–87. Online verfügbar unter <http://eprints.uni-kiel.de/14109/1/m187p077.pdf>, zuletzt geprüft am 13.03.2014.
- WHITE, N. (2004): *Balanus crenatus*. An acorn barnacle. Marine Life Information Network: Biology and Sensitivity Key Information Sub-programme [on-line]. Plymouth: Marine Biological Association of the United Kingdom. Online verfügbar unter <http://www.marlin.ac.uk/speciesfullreview.php?speciesID=2718>, zuletzt geprüft am 27.05.2014.
- WHITE, N. (2008a): *Fucus vesiculosus*. Bladder wrack. Marine Life Information Network: Biology and Sensitivity Key Information Sub-programme [on-line]. Plymouth: Marine Biological Association of the United Kingdom. Online verfügbar unter <http://www.marlin.ac.uk/speciesfullreview.php?speciesID=3348>, zuletzt geprüft am 27.05.2014.
- WHITE, N. (2008b): *Semibalanus balanoides*. An acorn barnacle. Marine Life Information Network: Biology and Sensitivity Key Information Sub-programme [on-line]. Plymouth: Marine Biological Association of the United Kingdom. [cited 14/11/2014]. Online verfügbar unter <http://www.marlin.ac.uk/speciesfullreview.php?speciesID=4328>, zuletzt geprüft am 10.11.2014.
- WIEDERHOLM, A.M. (1987): Habitat selection and interactions between three marine fish species (Gobiidae). OIKOS 48: 28-32.
- WINGFIELD, C.A. (1940): The effect of certain environmental factors on the growth of brown trout (*Salmo trutta* L.). J. exp. Biol. 17: 435-448.
- WITHER, A.; BAMBER, R.; COLCLOUGH, S.; DYER, K.; ELLIOTT, M.; HOLMES, P. et al. (2012): Setting new thermal standards for transitional and coastal (TraC) waters. Marine Pollution Bulletin 64: 1564–1579.
- WITTE, S.; BUSCHBAUM, C.; VAN BEUSEKOM, J. E. E.; REISE, K. (2010): Does climatic warming explain why an introduced barnacle finally takes over after a lag of more than 50 years? Biological Invasions 12: 3579–3586. DOI: 10.1007/s10530-010-9752-5.
- WOLTER, C., ARLINGHUS, R., GROSCH, U.A., VILCINSKAS, A. (2003): Fische & Fischerei in Berlin. Zeitschrift für Fischkunde, Suppl. Bd. 2, 164pp
- WORZYK, T. (2009): Submarine power cables, Design, Installation, Repair, Environmental Aspects. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag. ISBN 978-3-642-01270-9, pp.296.
- YIN, M.; BLAXTER, J. (1987): Temperature, salinity tolerance, and buoyancy during early development and starvation of Clyde and North Sea herring, cod, and flounder larvae. Journal of Experimental Marine Biology and Ecology 107(3): 279-290.
- ZAKHARTSEV, M. V.; WACHTER, B. DE; SARTORIS, F. J.; PÖRTNER, H. O.; BLUST, R. (2003): Thermal physiology of the common eelpout (*Zoarces viviparus*). J. Comp. Physiol. B. 173 (5). 365-378. DOI: 10.1007/s00360-003-0342-z.
- ZIPPAY, M. L.; HELMUTH, B. (2012): Effects of temperature change on mussel, *Mytilus*. Integrative Zoology 7: 312–327. DOI: 10.1111/j.1749-4877.2012.00310.x.



12 Anhang

12.1 Wärmeeinträge

12.1.1 Liste aller Wärmeeinleiter und deren Einleitungen

Tab. 56: Übersicht der Wärmeeinleiter in den niedersächsischen Küsten- und Übergangsgewässern.

Nutzort_ID	Gewässer	Referenz_Ort	Referenz-Temperatur	Rechtswert-UTM32N	Hochwert-UTM32N	Wasserkörper	Kühlwasservolumen [qm/a]	Wärme [J/a]	Quelle
Airbus Deutschland, Betriebsabwasser	Weser	Blexen	11.82	468152	5929169	T1 Weser	55672	2.85E+12	LDB
Airbus Deutschland, Halle 107	Weser	Blexen	11.82	468272	5929229	T1 Weser	19482.5	9.83E+11	LDB
Airbus Deutschland, Halle 201	Weser	Blexen	11.82	468342	5929358	T1 Weser	18933.75	7.49E+11	LDB
Aluminium Oxid Stade Gesamtabwasser	Elbe	Grauerort	11.67	532895	5944769	T1 Elbe	67836.66667	1.05E+12	LDB
Baltrum, KA_034520022027	Kueste	Nney_W_2	10.36	393910	5954158	DE_CW_N4_3100_01	124371	2.75E+12	LDB
Borkum, kommunale Kläranlage_034570022019	Kueste	Bork_W_1	10.64	349458	5939876	DE_CW_N4_3100_01	1378805.25	2.42E+13	LDB
Brake-Golzwarden_034610022033	Weser	Rechtenfleth	12.06	466443	5912585	T1 Weser	1399964	7.64E+12	LDB
Burhave_034610032024	Weser	Robbensüdsteert	11.31	459855	5936316	T1 Weser	326354.5	1.55E+12	LDB
Ditzum, kommunale Kläranlage_034570122012	Ems	Gandersum	11.44	384894	5909035	T1 Ems	47359.25	5.85E+11	LDB
Dornum-Dornumersiel KA_034524022018	Spiekeroog	Spog_W_1	10.39	401209	5948942	DE_CW_N2_3100_01	392982	4.08E+12	LDB
DOW Gesamtabwassereinleitung P 2_033590382048	Elbe	Grauerort	11.67	533830	5944284	T1 Elbe	199932500	9.00E+15	LDB
Eckwarden_034610032017	Jadebusen	Pile Jade 2	10.75	451552	5931157	DE_CW_N2_4900_01	40972.25	2.48E+11	LDB
Einl.-Punkt KA Drochtersen - Ablauf	Elbe	Grauerort	11.67	526305	5951582	T1 Elbe	359104.75	4.17E+12	LDB
Einl.-Punkt KA Wischhafen - Ablauf	Elbe	Grauerort	11.67	521376	5957294	T1 Elbe	372851.25	1.14E+12	LDB
Einleitstelle i. d. Gewässer CUX2EST_3520112001_KA Cuxhaven	Elbe	Landstation Cuxhaven	10.09	483437	5966653	T1 Elbe	7524881.75	0.00E+00	LDB
Einleitstelle i. d. Gewässer WHVEST_4050002001_Einleitung Jade	Jadebusen	Pile Jade 1	11.27	444452	5933687	DE_CW_N2_4900_01	10687659.5	1.15E+14	LDB
Elsfleth_034610042037	Weser	Intschede	12.13	465223	5901150	Unterweser (limn.)	514346.75	1.31E+12	LDB
Emden ConocoPhillips (Betr.-Abw.) KA_034020002003	Kueste	Bork_W_1	10.64	367913	5914059	T1 Ems	1395.5	2.50E+10	LDB
Emden Kraftwerk (Betriebsabw.) KA_034020002010	Ems	Gandersum	11.44	380449	5911815	T1 Ems	11798705.75	1.82E+14	LDB
Emden Kraftwerk (Sanitärabw.) KA_034020002001	Ems	Gandersum	11.44	380449	5911815	T1 Ems	2255	0.00E+00	LDB
EMDEN VW-WERK (Betriebsabwasser)_034020002004	Ems	Gandersum	11.44	375916	5911092	T1 Ems	325391.75	3.34E+12	LDB
EMDEN VW-WERK (vorbeh. Industrieabwasser)_034020002001	Ems	Gandersum	11.44	375916	5911092	T1 Ems	160585.75	3.97E+12	LDB

Nutzort_ID	Gewässer	Referenz_Ort	Referenz-Temperatur	Rechtswert-UTM32N	Hochwert-UTM32N	Wasserkörper	Kühlwasservolumen [qm/a]	Wärme [J/a]	Quelle
Emden-Knock KA_034020002005	Kueste	Bork_W_1	10.64	368307	5911702	T1 Ems	1906	5.01E+10	LDB
Emden-Larrelt KA_034020002008	Ems	Gandersum	11.44	375929	5911108	T1 Ems	4766828.25	6.26E+13	LDB
EON WHV geschätzt				443672	5935636	DE_CW_N2_4900_01		2.92E+16	Kraftwerks-Leistung
ESENS-Altharlingersiel	Spiekeroog	Spog_W_1	10.39	418342	5949561	DE_CW_N2_3100_01		0.00E+00	LDB
EWE Jemgum Sole	Kueste	Bork_W_1	10.64	366752	5913918	T1 Ems		0.00E+00	LDB
Fetraffinerie Brake Beh. Betriebsabw TS1_034610022029	Weser	Brake	12.90	466422	5910746	T1 Weser	1197400.5	7.81E+12	LDB
Fetraffinerie Brake Beh. Betriebsabw. TS2_034610022027	Weser	Brake	12.90	466422	5910746	T1 Weser	60180	2.66E+12	LDB
Fetraffinerie Brake Kühlwasser, (TS 3),_034610022026	Weser	Brake	12.90	466442	5910876	T1 Weser	655214.25	2.23E+13	LDB
Fetraffinerie Brake Kühlwasser,_034610022025	Weser	Brake	12.90	466442	5910876	T1 Weser	24403	2.12E+11	LDB
GDF-Suez KW Farge (2009)				467464	5894922	Unterweser (limn.)		1.37E+16	Umweltbehörde Bremen
GW Sanierung Exxon	Elbe	Grauerort	11.67	548315	5935434	Untereibe (limn.)		0.00E+00	LDB
Harlesiel	Spiekeroog	Spog_W_1	10.39	421534	5952352	DE_CW_N2_3100_01	229059.75	0.00E+00	LDB
Heizkraftwerk Wedel (Vattenfall) BAA	Elbe	Grauerort	11.67	548203	5935460	Untereibe (limn.)		0.00E+00	LDB
Heizkraftwerk Wedel (Vattenfall) REA	Elbe	Grauerort	11.67	548203	5935460	Untereibe (limn.)		0.00E+00	LDB
Hooksiel_034550202013	Jadebusen	JaBu_W_1	11.23	434935	5944313	DE_CW_N2_4900_01	305884.75	1.06E+12	LDB
INEOS Chlor; Betriebs.+ Niederschlagsw._034050002031	Jadebusen	Pile Jade 1	11.27	443652	5937516	DE_CW_N2_4900_01	114384.5	9.71E+11	LDB
INEOS Chlor; Kühlturmabschlammw._034050002032	Jadebusen	Pile Jade 1	11.27	443652	5937516	DE_CW_N2_4900_01	57448.75	0.00E+00	LDB
INEOS Vinyls; Beh. Betriebsabwasser_034050002029	Jadebusen	JaBu_W_1	11.23	441433	5943483	DE_CW_N2_4900_01	2096932.25	7.88E+13	LDB
IVG Seewasserentnahme	Jadebusen	JaBu_W_1	11.23	443552	5937466	DE_CW_N2_4900_01	40693670.5	0.00E+00	LDB
IVG Soleeinleitung	Jadebusen	JaBu_W_1	11.23	443552	5937466	DE_CW_N2_4900_01	40693670.5	0.00E+00	LDB
Juist KA_034520132016	Kueste	Nney_W_1	10.35	364061	5948670	DE_CW_N4_3100_01	269710.75	3.71E+12	LDB
KA Bayer Material Science AG SH	Elbe	Grauerort	11.67	514874	5970711	T1 Elbe	2962989.25	0.00E+00	LDB
KA Brokdorf SH	Elbe	Grauerort	11.67	522265	5967168	T1 Elbe	88082.25	0.00E+00	LDB

Nutzort_ID	Gewässer	Referenz_Ort	Referenz-Temperatur	Rechtswert-UTM32N	Hochwert-UTM32N	Wasserkörper	Kühlwasservolumen [qm/a]	Wärme [J/a]	Quelle
KA Glückstadt-Nord SH	Elbe	Grauerort	11.67	526819	5961274	T1 Elbe	942301.25	0.00E+00	LDB
KA Hetlingen avz Südholstein	Elbe	Grauerort	11.67	540208	5938965	Untereibe (limn.)		0.00E+00	LDB
KA Steinbeis Temming Papier SH	Elbe	Grauerort	11.67	527079	5959405	T1 Elbe	2654205.75	0.00E+00	LDB
KA YARA Brunsbüttel GmbH SH	Elbe	Grauerort	11.67	515115	5970777	T1 Elbe	1494781.5	0.00E+00	LDB
KARA Nordholz_033520402043	Weser	Robbensüdsteert	11.31	470818	5956809	T1 Weser	741764.25	6.27E+12	LDB
KARA Schiffdorf_033520502038	Weser	BHV AL	11.57	478188	5933067	T1 Weser	478678.25	1.89E+12	LDB
Kartonfabrik Varell Beh.Betriebsabwasser_034550262050	Jadebusen	JaBu_W_2	10.67	446001	5921652	DE_CW_N2_4900_01	1413719.5	6.96E+13	LDB
KKU Betriebsabwasser (UL40)_034610092055	Weser	SPO	12.32	465853	5920022	T1 Weser	4316.75	8.07E+10	LDB
KKU Kläranlage Sanitärabwasser_034610092058	Weser	SPO	12.32	465853	5920022	T1 Weser	8556	3.42E+10	LDB
KKU Kondensatentsalzung (UC)_034610092056	Weser	SPO	12.32	465853	5920022	T1 Weser	2586.75	1.03E+10	LDB
KKU Kuehlwasser	Weser	SPO	12.32	465461	5919972	T1 Weser	1053111790	3.90E+16	LDB
KKU Speisewasseraufbereitung (UA)_034610092057	Weser	SPO	12.32	465853	5920022	T1 Weser	3538.5	4.01E+10	LDB
KKW Brokdorf Kuehlwasser	Elbe	Grauerort	11.67	522714	5966992	T1 Elbe	1845877303	6.71E+16	LDB
Kraftw.WHV Ablaufbehälter RK_034050002049	Jadebusen	JaBu_W_1	11.23	443672	5935636	DE_CW_N2_4900_01	14191.5	7.67E+11	LDB
Kraftw.WHV Ablaufbehälter RT_034050002048	Jadebusen	JaBu_W_1	11.23	443672	5935636	DE_CW_N2_4900_01	6754.75	6.14E+11	LDB
Kraftw.WHV Ablauf BAA_034050002045	Jadebusen	JaBu_W_1	11.23	443672	5935636	DE_CW_N2_4900_01	59544	1.15E+12	LDB
Kraftw.WHV Rauchgas. Stichprobe_034050002044	Jadebusen	JaBu_W_1	11.23	443672	5935636	DE_CW_N2_4900_01	68315.5	6.53E+12	LDB
Kronos-Titan, Blexen Betriebsabwasser_034610072024	Weser	BHV AL	11.57	470841	5931997	T1 Weser	9254796.5	3.98E+14	LDB
LANGEOOG KA	Spiekeroog	Spog_W_1	10.39	401618	5954709	DE_CW_N2_3100_01	505333.25	5.89E+12	LDB
Leer-Nüttermoor EWE Emswasser_034570132005	Ems	Gandersum	11.44	393192	5902431	T1 Ems	3351554	1.60E+13	LDB
Leer-Nüttermoor EWE Sole_034570132004	Ems	Gandersum	11.44	386921	5908928	T1 Ems	2743793.209	5.73E+13	LDB
Metaleurop Weser GmbH; Weserwasser_034610072039 (aktueller Name: Weser-Metall GmbH)	Weser	Blexen	11.82	467472	5928444	T1 Weser	120	1.48E+09	LDB
MKK				481685	5886199	Untereser (limn.)		2.23E+15	Wärmeenergie laut swb

Nutzort_ID	Gewässer	Referenz_Ort	Referenz-Temperatur	Rechtswert-UTM32N	Hochwert-UTM32N	Wasserkörper	Kühlwasservolumen [qm/a]	Wärme [J/a]	Quelle
NEAG Brake Neutralisation_034610022013	Weser	Brake	12.90	466363	5910516	T1 Weser	1747	1.06E+10	LDB
Nordenham_034610072014	Weser	Blexen	11.82	466243	5927869	T1 Weser	2857910	2.36E+13	LDB
Norderney KA_034520202014	Kueste	Nney_W_2	10.36	379820	5952730	DE_CW_N4_3100_01	1142105.5	2.04E+13	LDB
NWKG Seewasserentnahme	Weser	Intschede	12.13	444520	5935036	DE_CW_N2_4900_01	1934315	0.00E+00	LDB
NWKG Soleeinleitung	Weser	Intschede	12.13	444520	5935036	DE_CW_N2_4900_01	1934315	0.00E+00	LDB
NWO Niederschlagswasser_034050002060	Jadebusen	Pile Jade 1	11.27	444122	5934897	DE_CW_N2_4900_01	310516.75	2.71E+11	LDB
NWO Sanitärabwasser_034050002061	Jadebusen	Pile Jade 1	11.27	444452	5933687	DE_CW_N2_4900_01	1250.75	1.05E+10	LDB
Omni-Pac Elsfleth Beh. Betriebsabwasser_034610042007	Weser	Intschede	12.13	464113	5897311	Unterweser (limn.)	97101.25	1.62E+12	LDB
Rodenkirchen-Hartwarden_034610092011	Weser	SPO	12.32	464393	5919013	T1 Weser	437989.75	8.18E+11	LDB
Schillig_034550202010	Weser	Dwarsgat	10.79	434596	5950131	DE_CW_N2_4900_01	257962.25	1.87E+12	LDB
SPIEKEROOG KA	Spiekeroog	Spog_W_1	10.39	414663	5958057	DE_CW_N2_3100_01	183288	4.30E+12	LDB
Stahlwerke HB KW (2009)	-	-	-	480905	5885848	Unterweser (limn.)	-	2.30E+15	Umweltbehörde Bremen
Stahlwerke HB KW (2009)	-	-	-	481199	5886875	Unterweser (limn.)	-	2.30E+15	Umweltbehörde Bremen
SWB Block 14	-	-	-	491121	5878816	Unterweser (limn.)	-	8.46E+14	swb
SWB Block 15	-	-	-	491451	5878789	Unterweser (limn.)	-	2.23E+15	swb
SWB Block 3	-	-	-	479473	5885828	Unterweser (limn.)	-	2.23E+15	swb
SWB Block 4	-	-	-	479473	5885828	Unterweser (limn.)	-	1.82E+15	swb
SWB Block 5	-	-	-	481685	5886199	Unterweser (limn.)	-	8.95E+14	swb
SWB Block 6	-	-	-	481205	5885564	Unterweser (limn.)	-	7.88E+15	swb
Varel	Jadebusen	JaBu_W_2	10.67	443392	5918373	DE_CW_N2_4900_01	2601209	1.08E+13	LDB
Wangerooge_034550212005	Spiekeroog	Spog_W_1	10.39	428838	5959807	DE_CW_N2_3100_01	416081.25	3.04E+12	LDB
WHV,ner Raffinerieges. Kläranlage	Jadebusen	JaBu_W_1	11.23	442253	5941594	DE_CW_N2_4900_01	1120977	2.43E+13	LDB
WHV'ner Raffinerieges. Lagune_034050002063	Jadebusen	JaBu_W_1	11.23	442283	5941604	DE_CW_N2_4900_01	35019.5	2.37E+11	LDB

Nutzort_ID	Gewässer	Referenz_Ort	Referenz-Temperatur	Rechtswert-UTM32N	Hochwert-UTM32N	Wasserkörper	Kühlwasservolumen [qm/a]	Wärme [J/a]	Quelle
WINGAS Sole	Kueste	Bork_W_1	10.64	366752	5913918	T1 Ems	-	0.00E+00	LDB
Xstrata Nordenham (aktueller Name: Nordenhamer Zinkhütte GmbH); Betriebsabwasser_034610072037	Weser	Blexen	11.82	467562	5928629	T1 Weser	368725.5	3.11E+13	LDB
Xstrata Nordenham; Kühl- u.OFW_034610072040	Weser	Blexen	11.82	467562	5928629	T1 Weser	14909650.25	8.35E+14	LDB

12.1.2 Angaben zu Wärmeeinleitungen in Bremen (Genehmigungen der Umweltbehörde)

Tab. 57: 15 Wärmeeinleitungen in Bremen. Einleitungen, zu denen keine Koordinaten vorliegen, wurden in dieser Studie nicht berücksichtigt (grau). Quelle: Webseite der Umweltbehörde Bremen über Erlaubte Einleitungen (<http://www.umwelt.bremen.de/de/detail.php?gsid=bremen179.c.1746.de>).

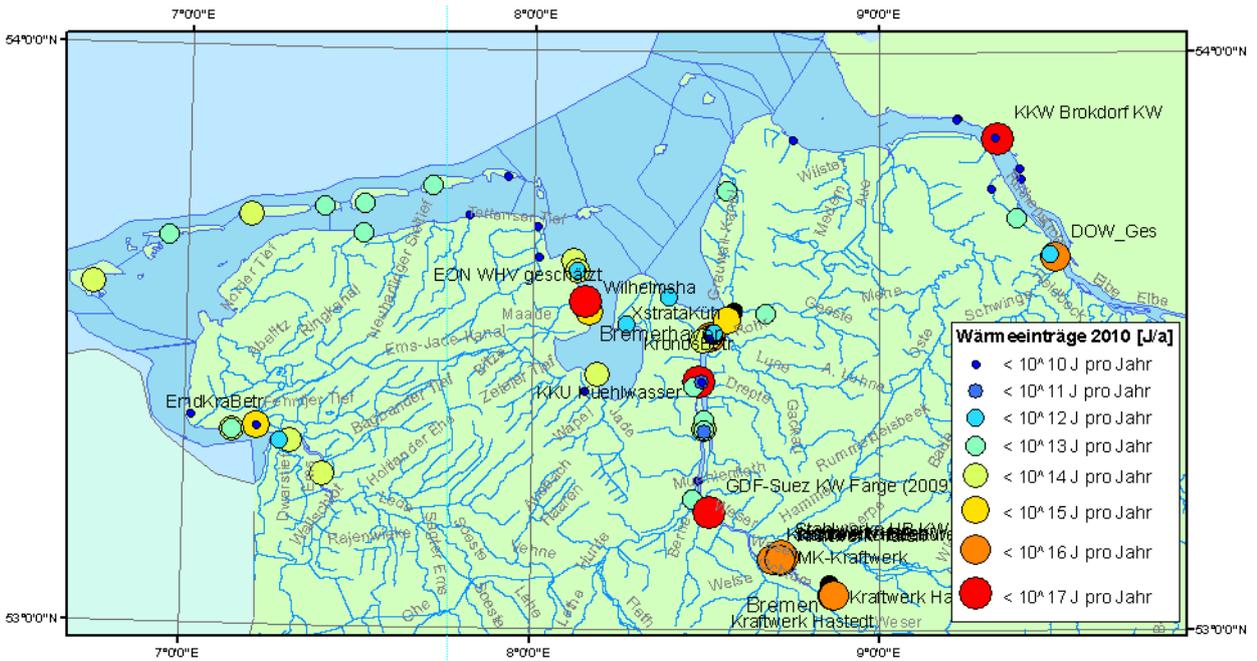
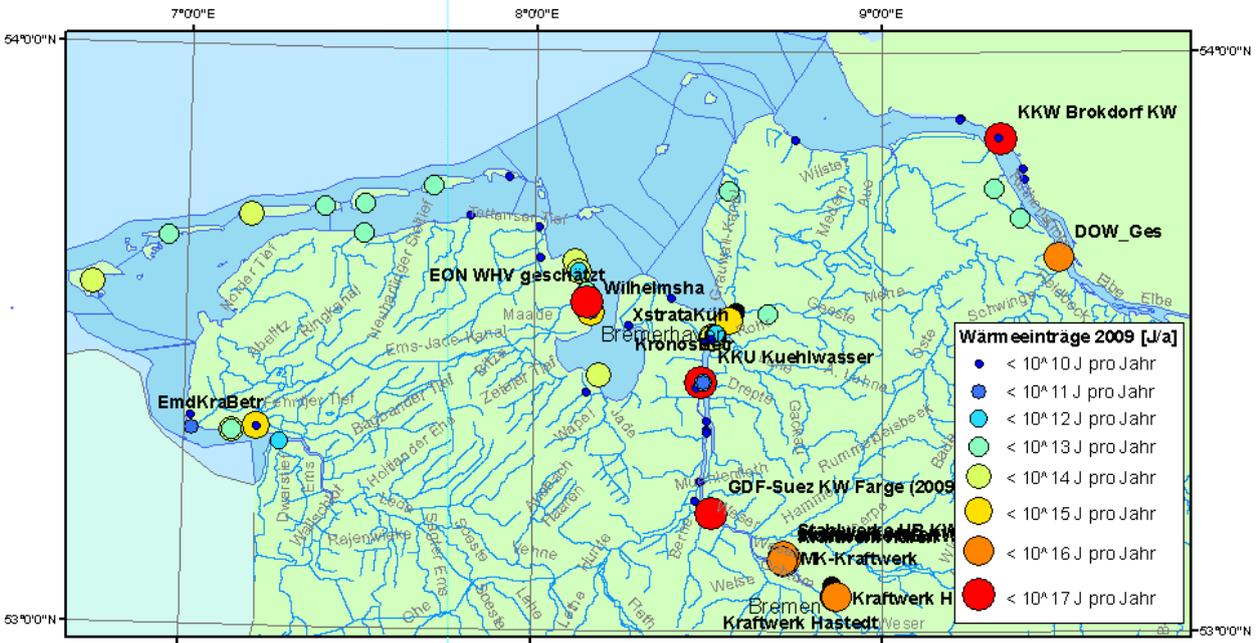
Betrieb	Max. Jahres-Volumenstrom [m ³ / a]	Entnahme	Einleitung	Maximal erlaubte Temperatur im Ablauf	Maximale Temperaturdifferenz
Stahlwerken Bremen GmbH, Auf den Delben 35, 28237 Bremen (2009)	110.000.000	EBW 1: RW: 3479376 HW: 5887751 EBW 2: RW: 3477030, HW: 5888485	DPW: RW: 3.481.263 HW: 5.888.790 Hüttenhafen: RW: 5.887.763 HW: 3.480.969	30 ° C im Ablauf	10 K Differenz (nach Durchmischung max. 3 K)
Bremerhavener Dock GmbH (Kühlwasser von Schiffen, 1998/99)	Keine Angaben	Keine Angaben	Strom-Km 20,67 rechtes Ufer	Keine Angaben	Keine Angaben
BREWA Umweltservice GmbH (2010)	350.000 (Betriebswasser HKW-Blumenthal, Abwasser der Eindampf- und Feuerungsanlage, Kläranlage)	Keine Angaben	Strom-Km 20,67 r. U. RW: 3.471.945 HW: 5.893.796	Keine Angaben	Keine Angaben
GDF-Suez Kraftwerk Farge (2009)	385.000.000	Strom-Km25,77 RW: 3.467.780 HW: 5.896.750	Strom-Km 25,95 r. U. RW: 3.467.523 HW: 5.896.840	30 ° C im Ablauf	8,5 K (nach Durchmischung max. 3 K)
Dockbetrieb des Bremischen Hafenamtes (Kühlwasser der Schiffe)			Keine Angaben		
Lloyd Werft Bremerhaven GmbH (1998)	285.000 und Kühlwasser der Schiffe (Kaiserdocks I + II und des Schwimmdock III)		Keine Angaben	Jahresmittel 28 °C	10 K

Betrieb	Max. Jahres-Volumenstrom [m ³ / a]	Entnahme	Einleitung	Maximal erlaubte Temperatur im Ablauf	Maximale Temperaturdifferenz
MWB Motoren & Anlagen GmbH & Co. Marinetechnik KG	350.000	Überseehafen	Kaiserhafen	Jahresmittel 28 °C	10 K
Rickmers Lloyd Dockbetrieb GmbH	Kühlwasser der Schiffe		Überseehafen		
SSW Fähr- und Spezialschiffbau GmbH	900 und Kühlwasser der Schiffe	Handelshafen	Handelshafen	Jahresmittel max. 28 °C	10 K
swb-Kraftwerk Hafen Block 5	144.000		RW: 3.481.749 HW: 5.888.114 ¹⁹⁾	30 °C	10 K
swb-Kraftwerk Hafen Block 6	270.000		RW: 3.481.269 HW: 5.887.479 ¹⁹⁾	30 °C	9,7 K
swb-Kraftwerk Hastedt (1995/2010) Block 14	115.000.000	Strom-Km 361,54 r. Ufer	RW: 3.491.189 HW: 5.880.728	28 °C (nach Durchmischung 20 °C!)	10 K (nach Durchmischung 3 K)
swb-Kraftwerk Hastedt (1995/2010) Block 15	118.000.000		RW: 3.491.519 HW: 5.880.701	28 °C (nach Durchmischung 20 °C!)	10 K (nach Durchmischung 3 K)
swb-Kraftwerk Mittelsbüren Block 3 und 4 (2005/2010)	233.500.000	Strom-Km 9,7 RW: 3.479.537 HW: 5.887.477	Strom-Km 11,15 RW: 3.478.231 HW: 5.888.477	30 °C (nach Durchmischung 28 °C)	10 K (nach Durchmischung 3 K)
swb-Kraftwerk Mittelkalorik- KW Industriehafen (2007/2009)	66.000.000	RW: 3.481.683 HW: 5.887.743	RW: 3.481.749 HW: 5.888.114	30 °C (nach Durchmischung 28 °C)	10 K

¹⁹⁾ Bei Eisgang davon auch bis zu 7000 m³ / a bei Rechtswert: 3.481.540, Hochwert: 5.887.450 (Strom-Km 7,9, rechtes Ufer).



12.1.3 Positionen und Größe der Einträge (logarithmische Darstellung)



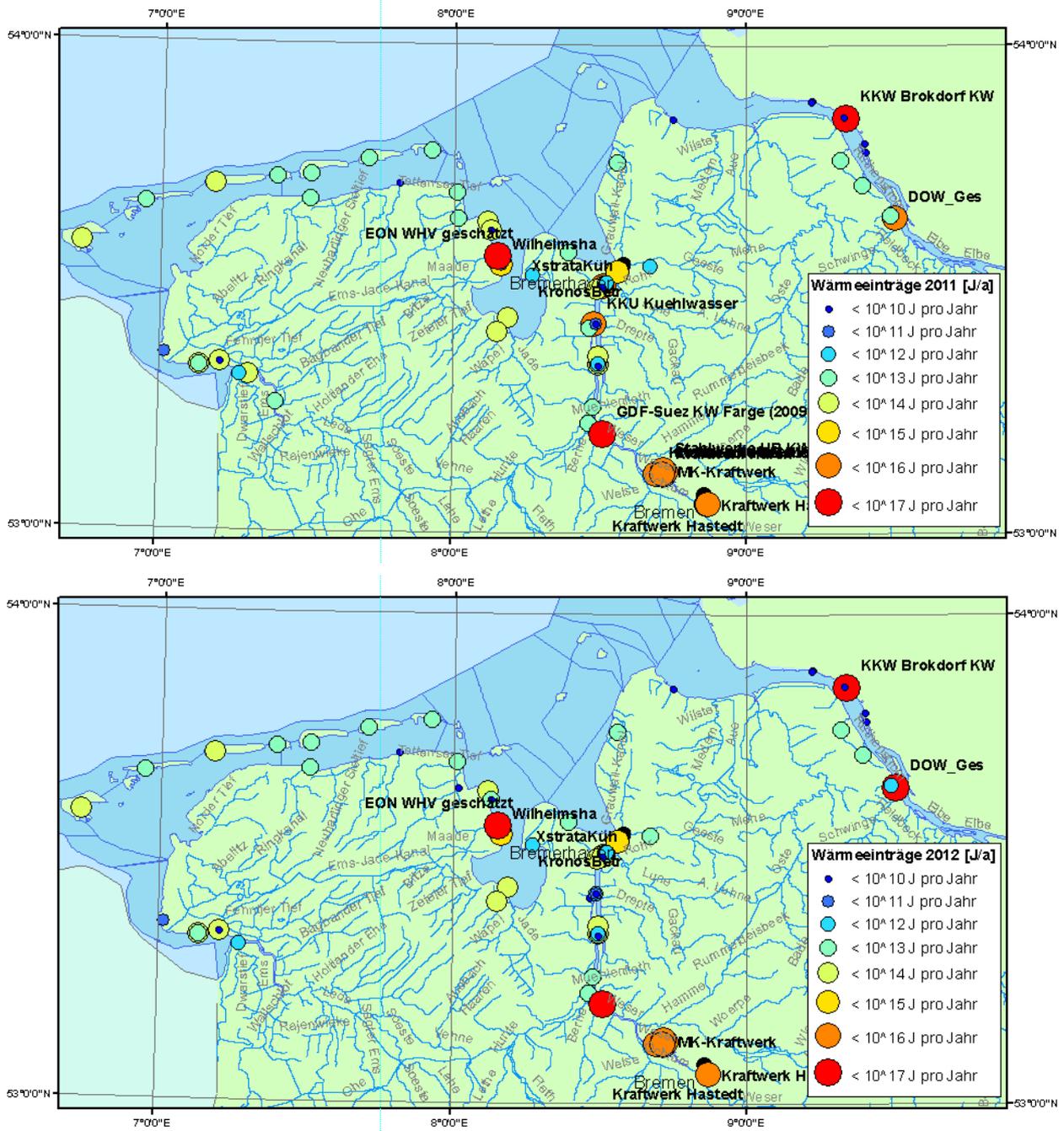
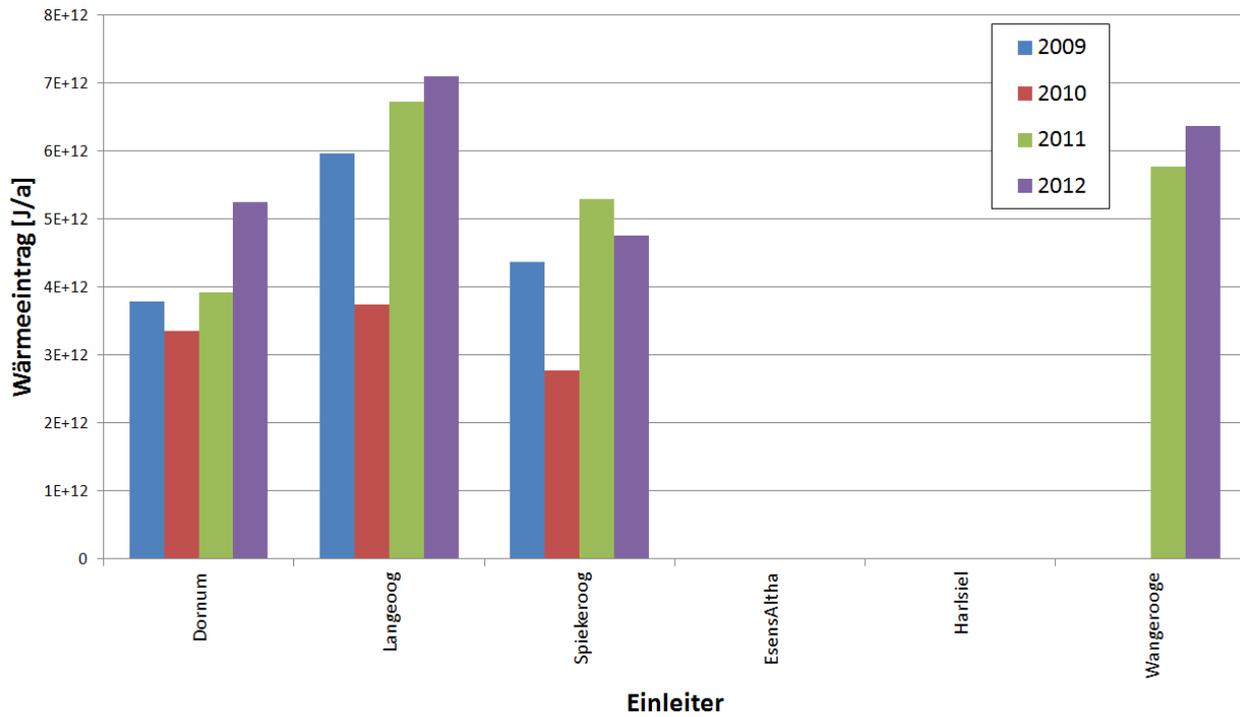


Abb. 58: Wärmeeinträge in die niedersächsischen Küsten- und Übergangsgewässer in den Jahren 2009 bis 2012, logarithmische Darstellung. Alle Einleiter mit Einleitungen von mehr als 10¹⁴ Joule pro Jahr sind beschriftet.

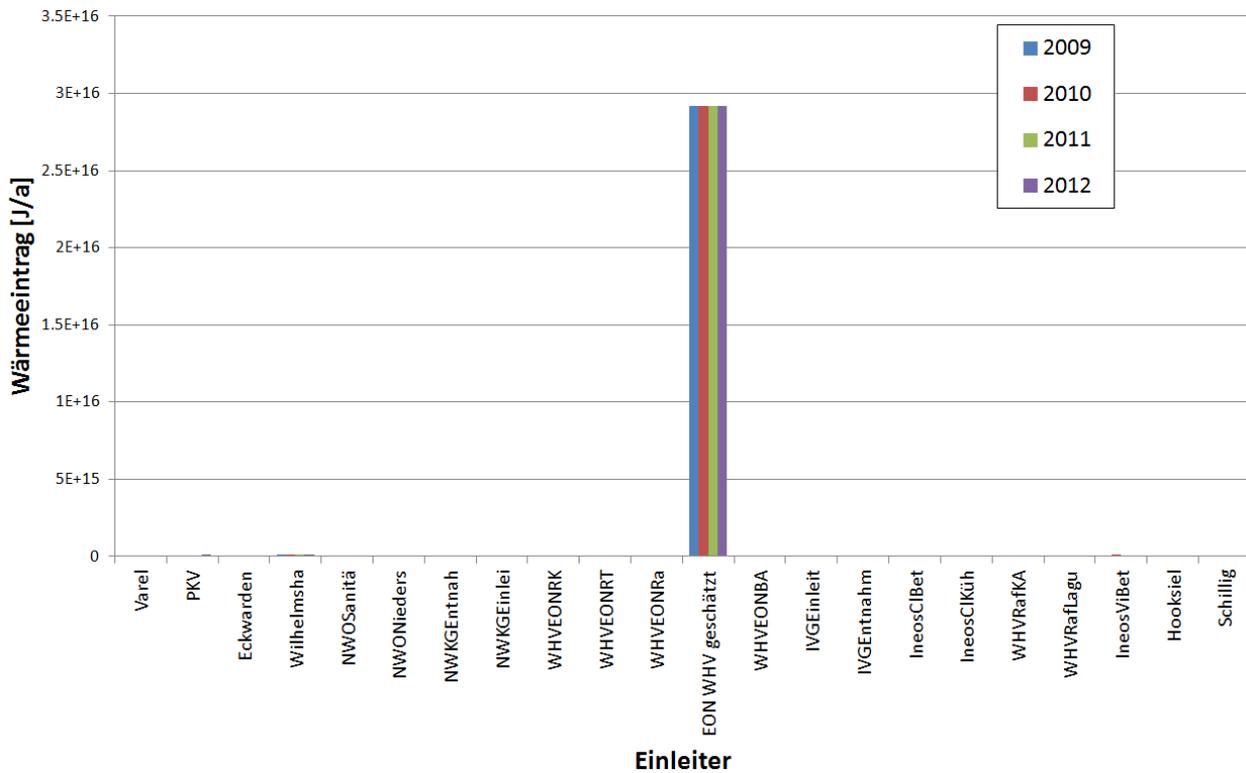


12.1.4 Balkendiagramme für Wärmeeinträge in die Wasserkörper (2009-2012)

DE_CW_N2_3100_01 (von Westen nach Osten sortiert)

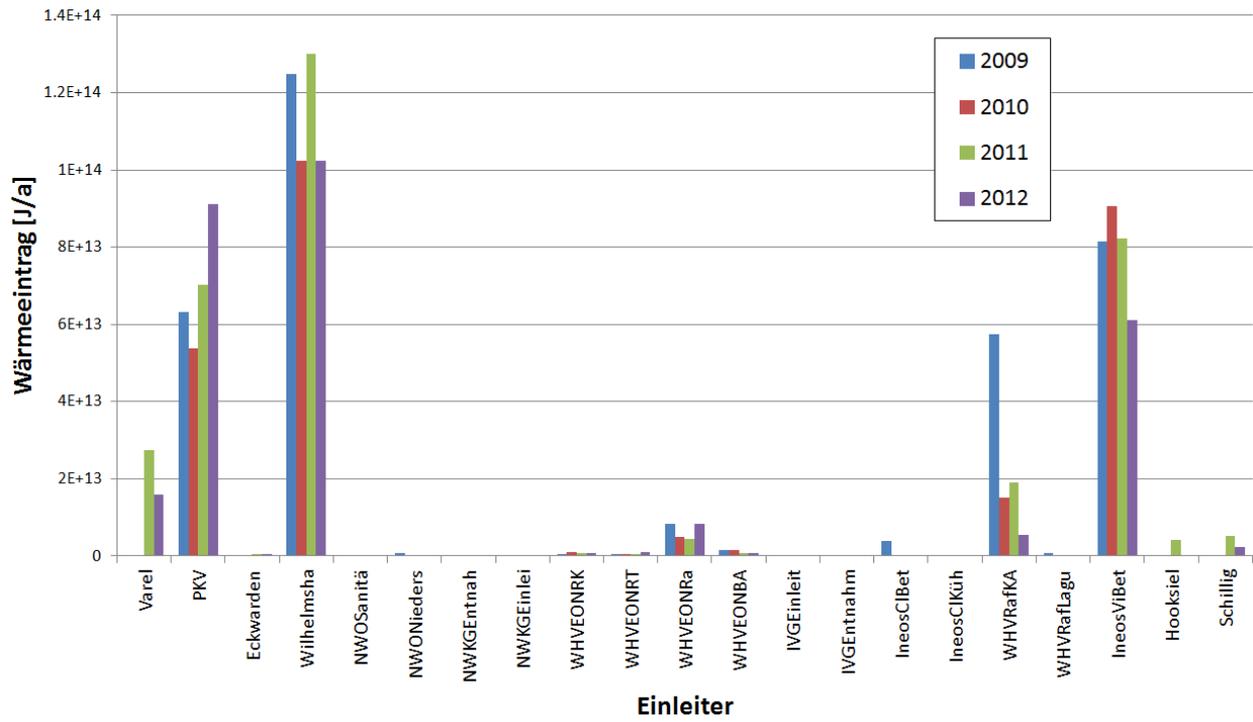


DE_CW_N2_4900_01 (von Süden nach Norden sortiert)

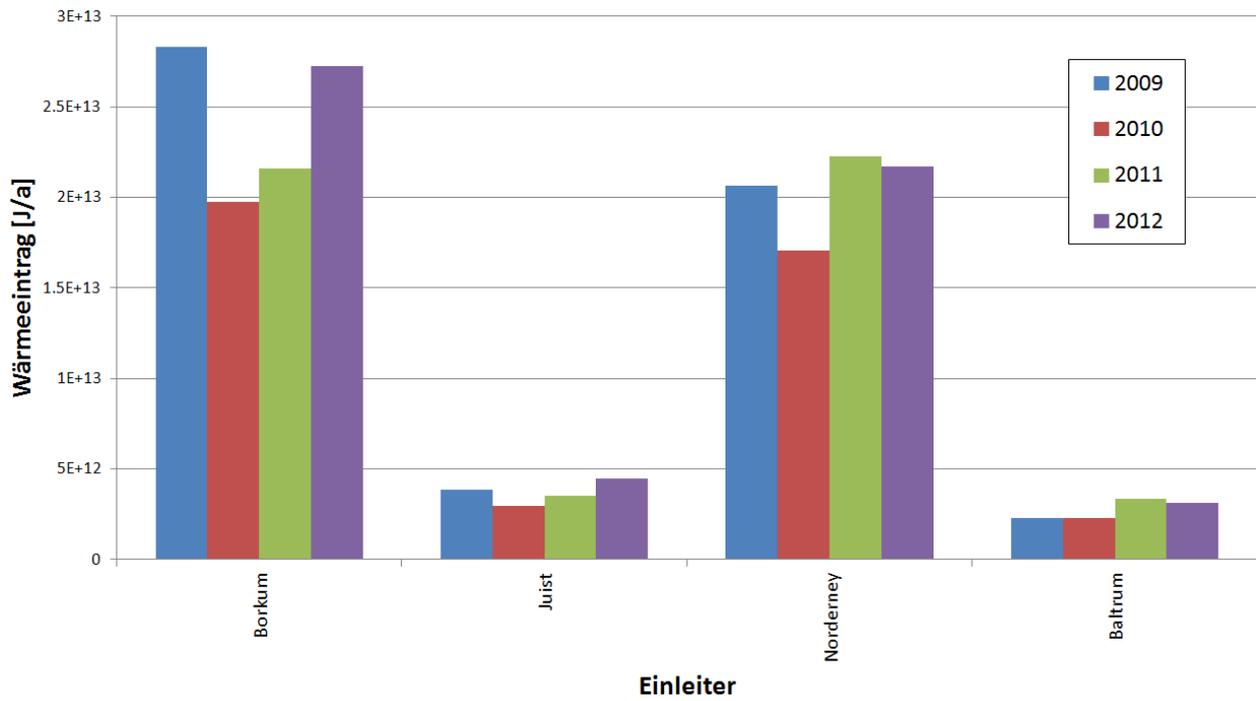




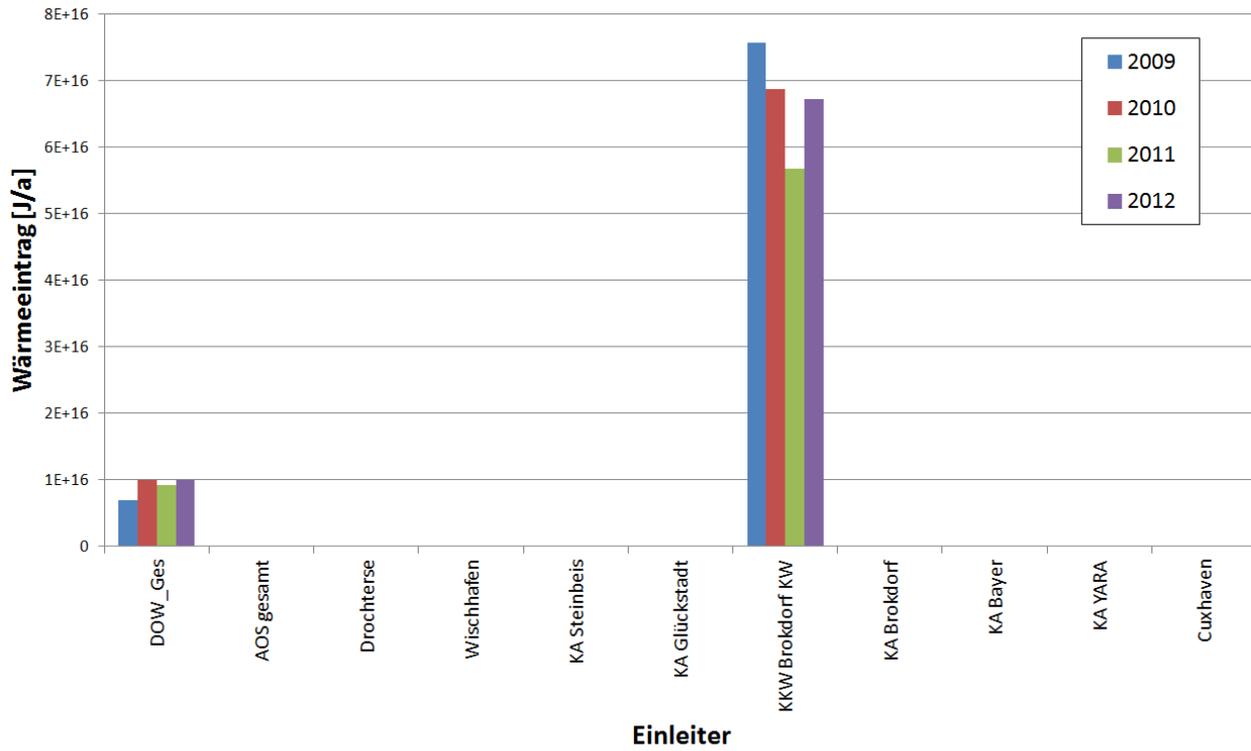
DE_CW_N2_4900_01 ohne EON (von Süden nach Norden sortiert)



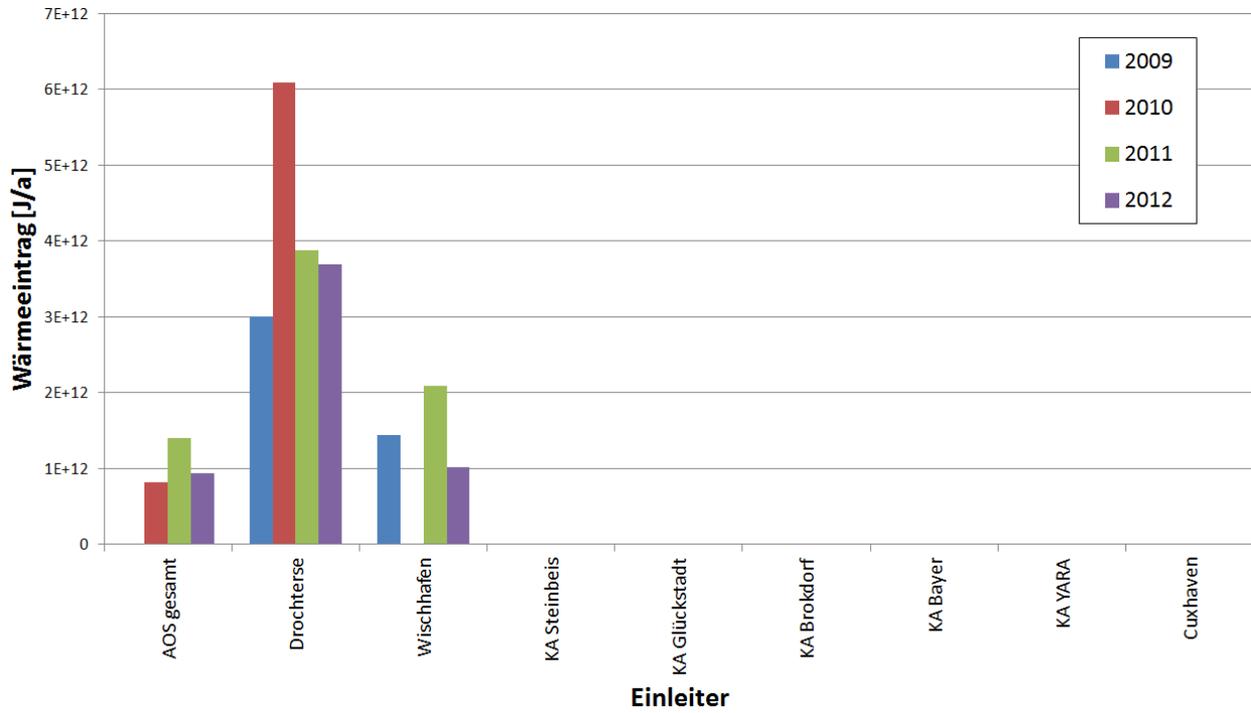
DE_CW_N4_3100_01 (von Westen nach Osten sortiert)



T1 Elbe (flussabwärts sortiert)

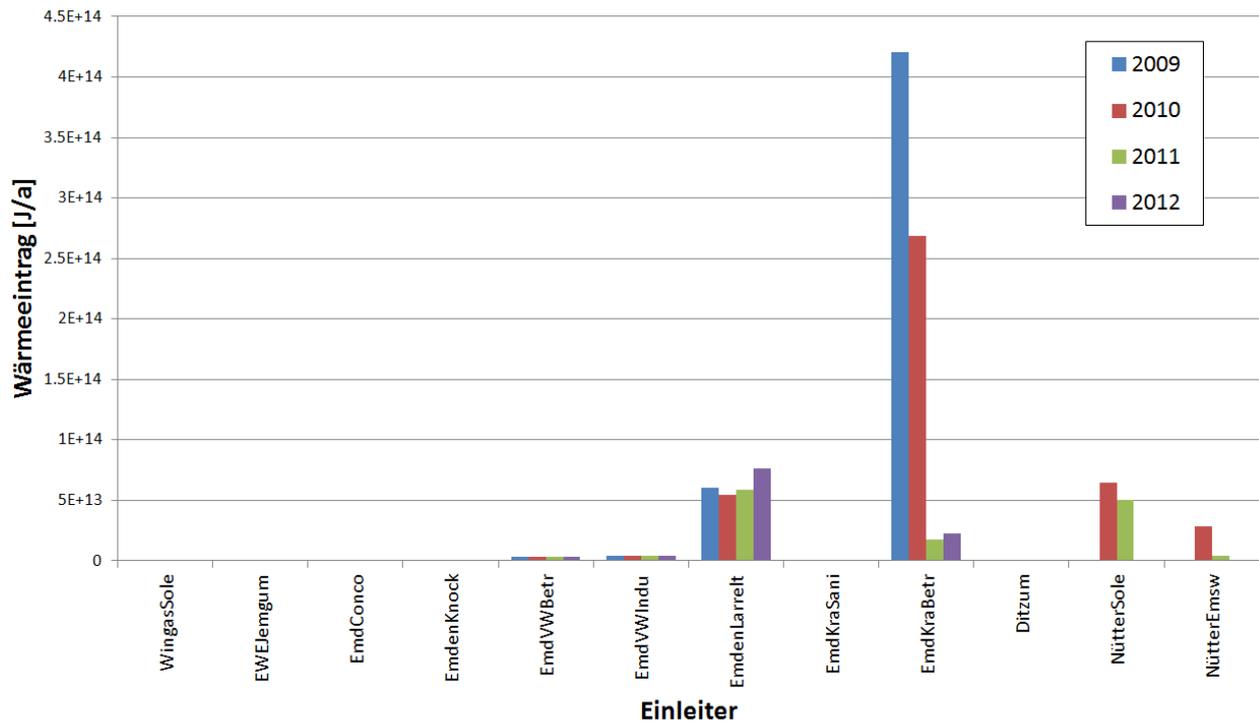


T1 Elbe ohne Brokdorf und Dow Chemical (flussabwärts sortiert)

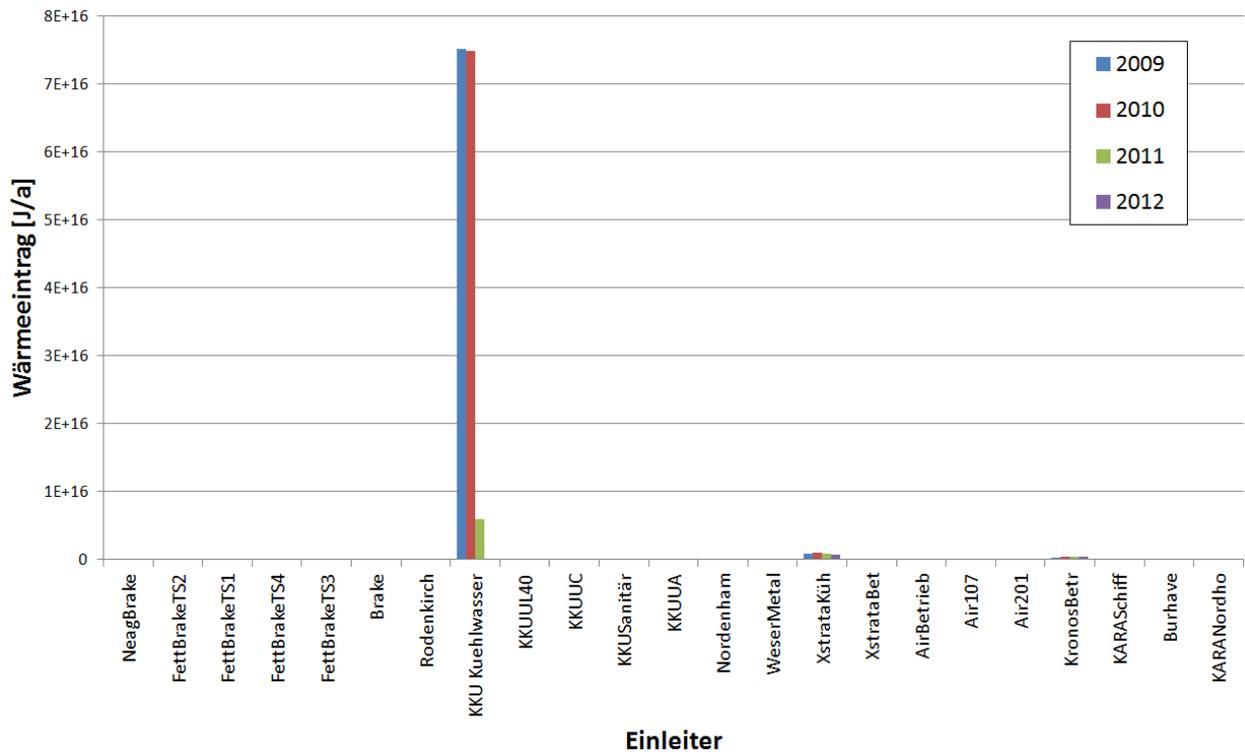




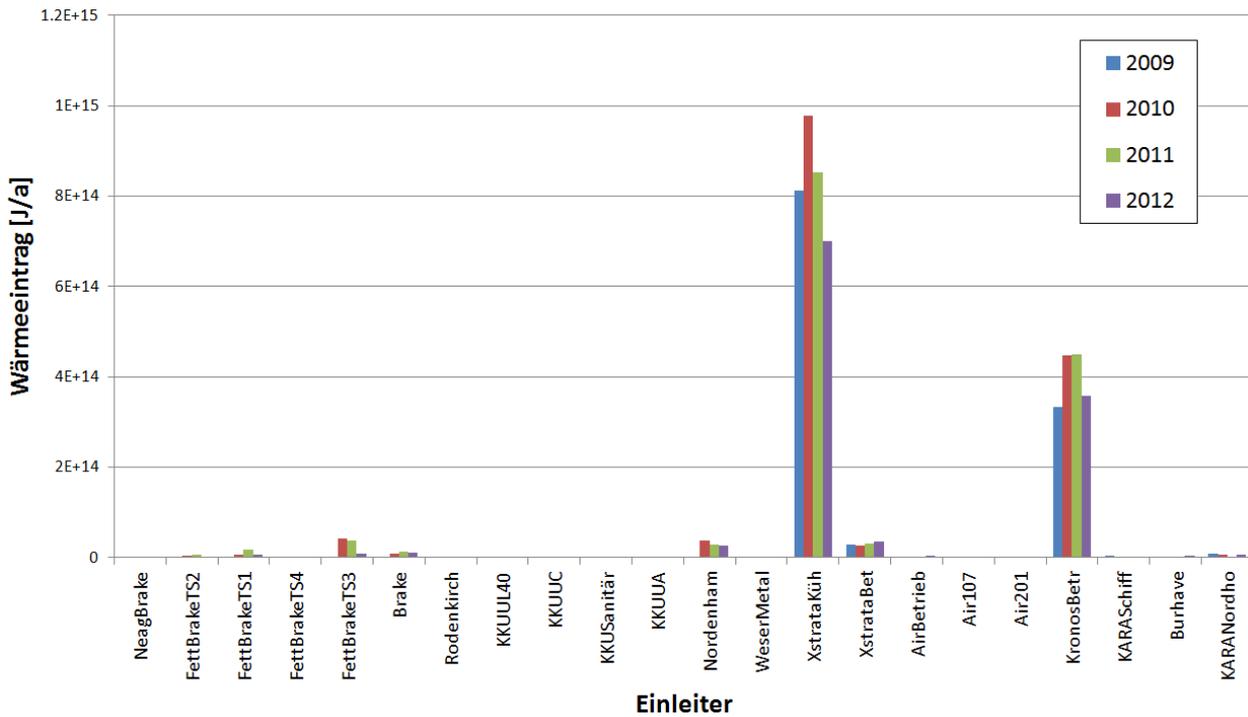
T1 Ems (von West nach Ost)



T1 Weser (flussabwärts sortiert)



T1 Weser ohne KKW-Kühlwasser (flussabwärts sortiert)



Unterweser (limn., flussabwärts sortiert)

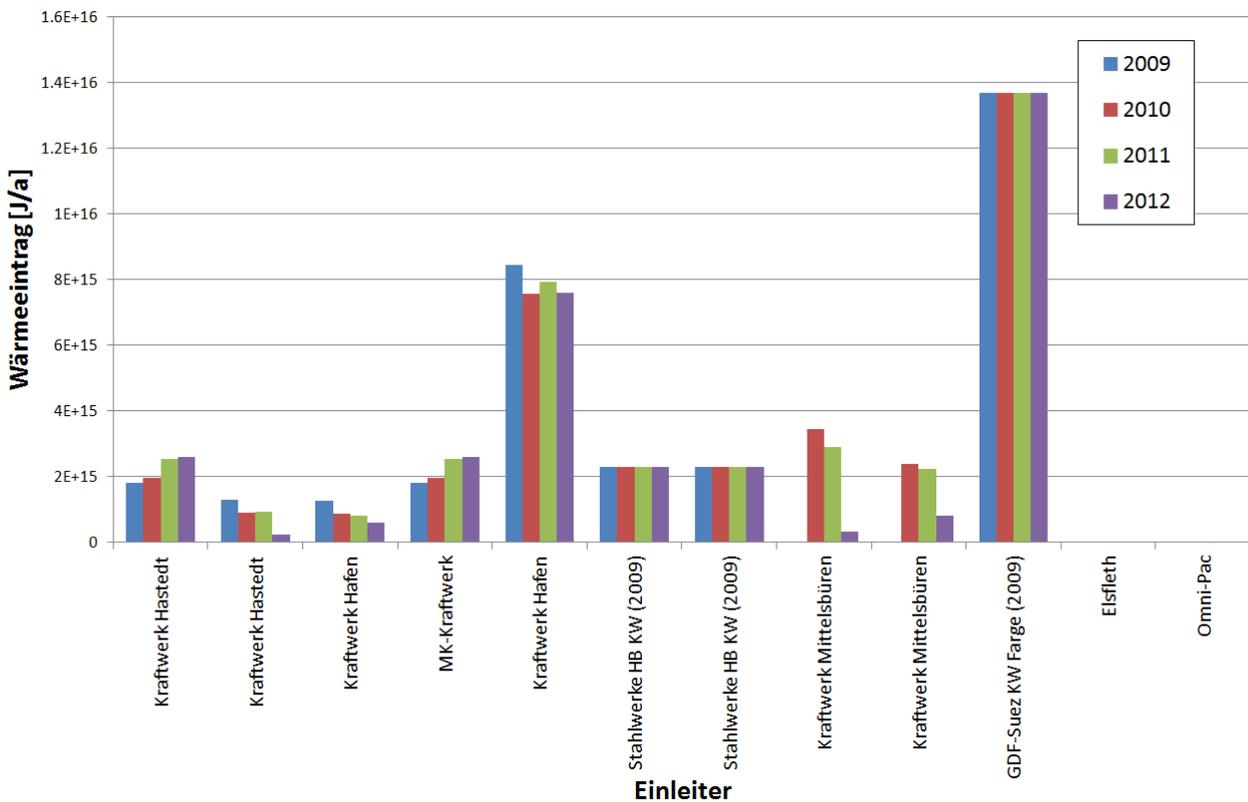


Abb. 59: Wärmeeinträge in die Wasserkörper der niedersächsischen Küsten- und Übergangsgewässer: Für jeden Einleiter eines Wasserkörpers sind die Werte der Jahre 2009 bis 2012 dargestellt. Für die Übergangsgewässer der Weser und Elbe sind jeweils zwei Balkendiagramme dargestellt, wobei das zweite Diagramm ohne die jeweils großen Einleiter KKW-Unterweser (Weser) bzw. Brokdorf und Dow (Elbe) erstellt wurde. Doppelnennungen bedeuten, dass der betreffende Einleiter zwei Einleitungsstellen hat (das heißt z. B. getrennte Einleitungen von 2 Kraftwerksblöcken).



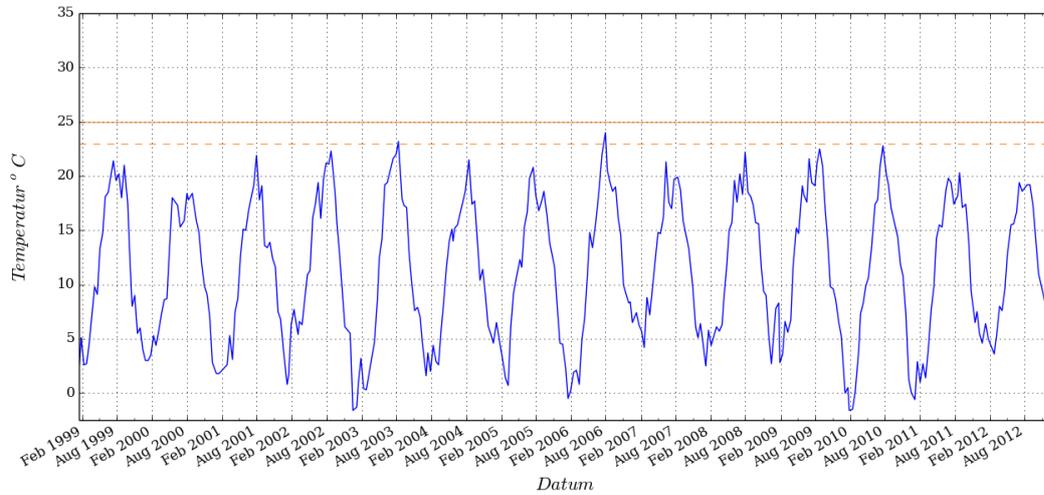
Tab. 58: Jahressummen der Wärmeeinträge pro Wasserkörper für den Zeitraum 2009 bis 2012 [Peta Joule / a].

Wasserkörper	Wärmeeintrag 2009	Wärmeeintrag 2010	Wärmeeintrag 2011	Wärmeeintrag 2012
DE_CW_N2_3100_01	0,01	0,01	0,02	0,02
DE_CW_N2_4900_01	29,52	29,45	29,52	29,47
DE_CW_N4_3100_01	0,06	0,04	0,05	0,06
T1 Elbe	82,59	78,69	65,96	77,25
T1 Ems	0,49	0,42	0,14	0,11
T1 Weser	76,40	76,47	7,39	1,17
Unterweser (limn.)	32,96	37,38	38,17	33,11

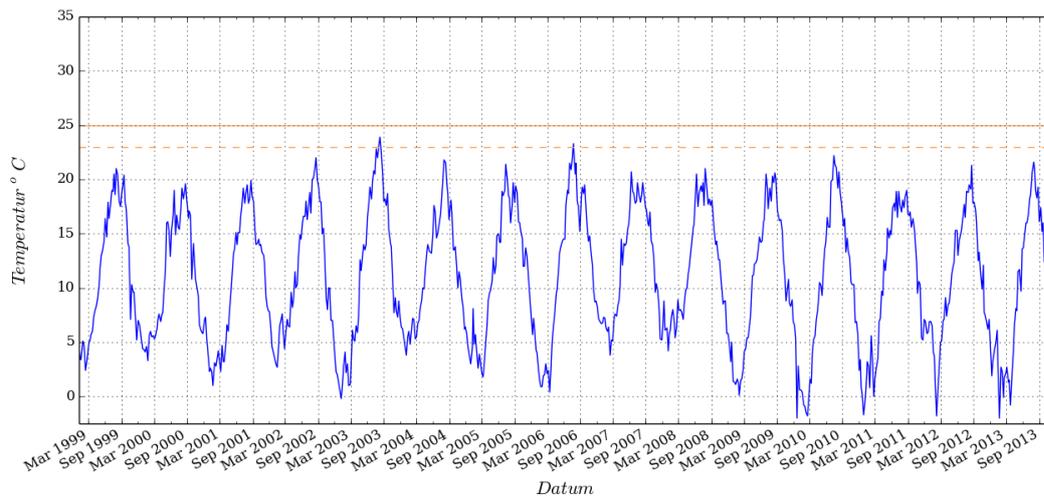
12.2 Zeitreihen der Wassertemperatur

12.2.1 Zeitserien der Wassertemperatur im Küstenbereich

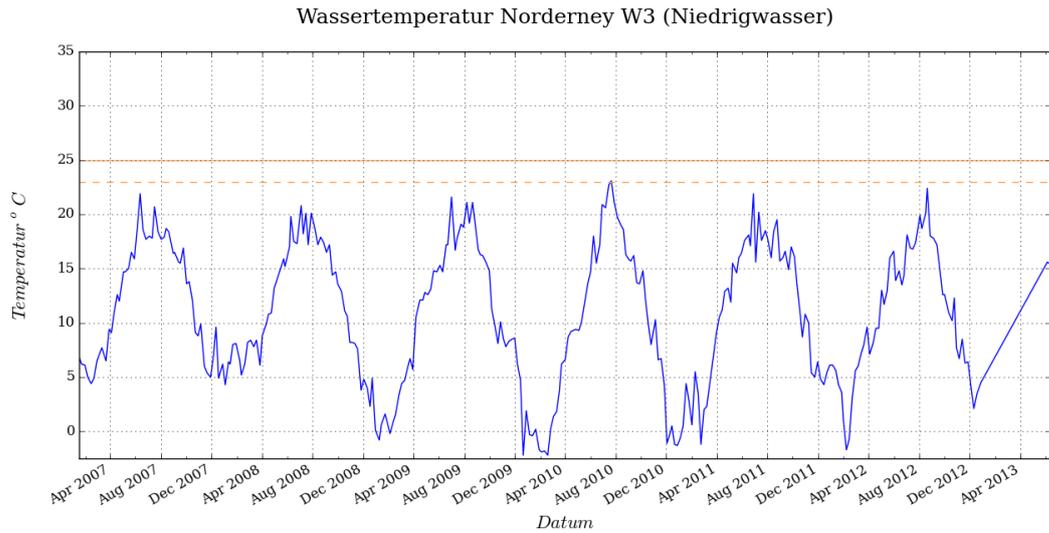
a) Wassertemperatur Jadebusen (JaBu_W1)



b) Wassertemperatur Norderney W2 (Hochwasser)



c)



d)

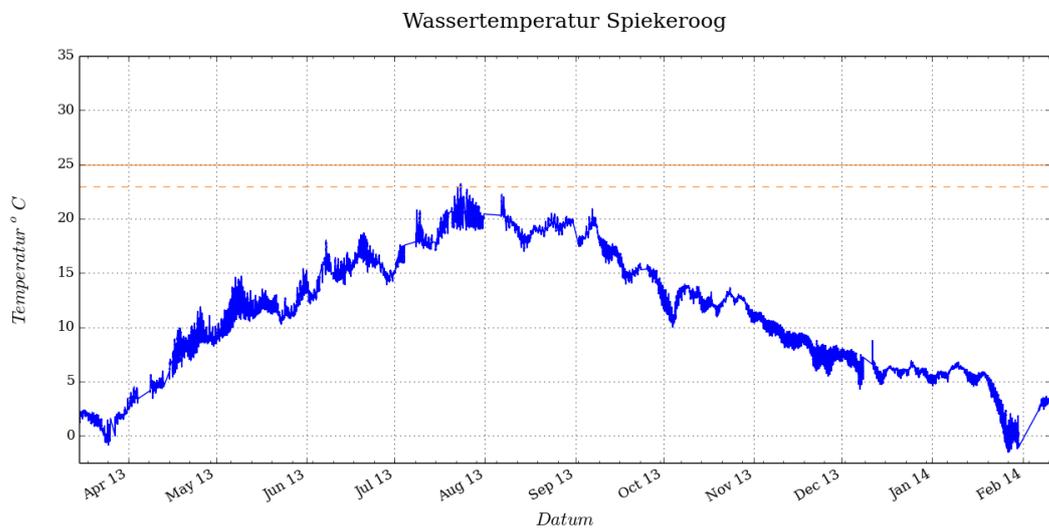


Abb. 60: Zeitserien der Wassertemperatur im niedersächsischen Küstengewässer: Dargestellt sind Zeitreihen an einer Messstation im Jadebusen, JaBu_W1, einer Messstation südwestlich von Norderney (Nney_W_3, Niedrigwassermessungen) und an eine Station bei Spiekeroog. Für die Lage dieser Stationen siehe Abb. 5.

12.2.2 Zeitserien der Wassertemperatur in der Ems

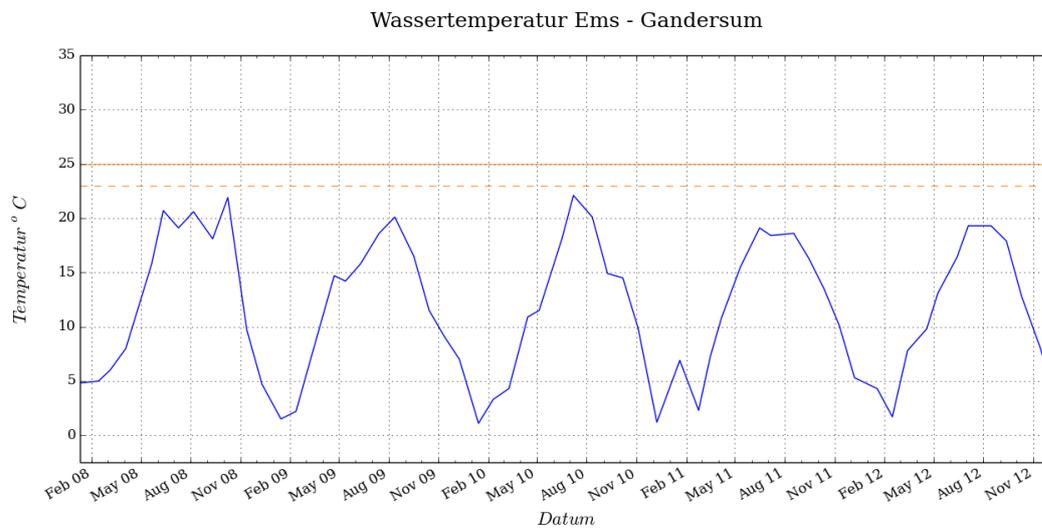


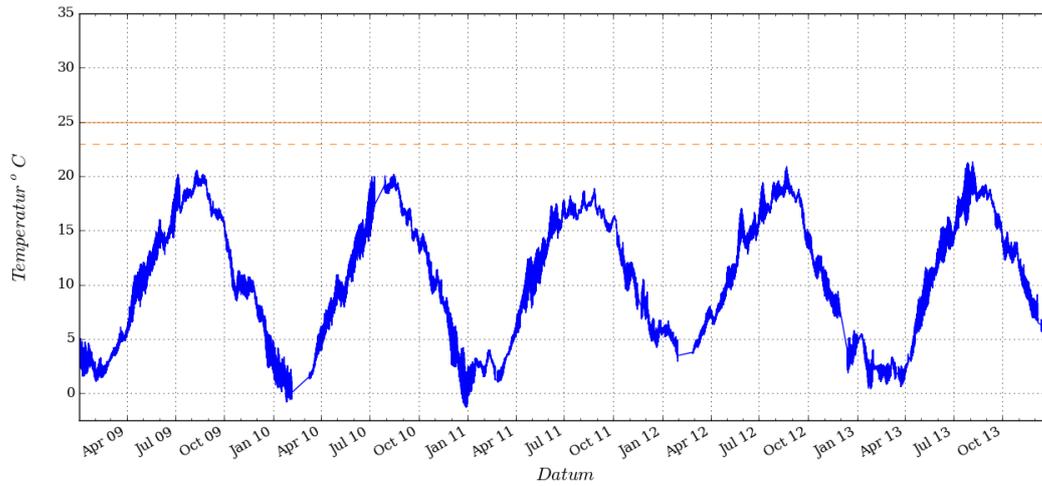
Abb. 61: Zeitserie der Wassertemperatur in der Ems (Gandersum). Die Lage der Station ist in Abb. 5 b dargestellt.



12.2.3 Zeitserien der Wassertemperatur in der Weser

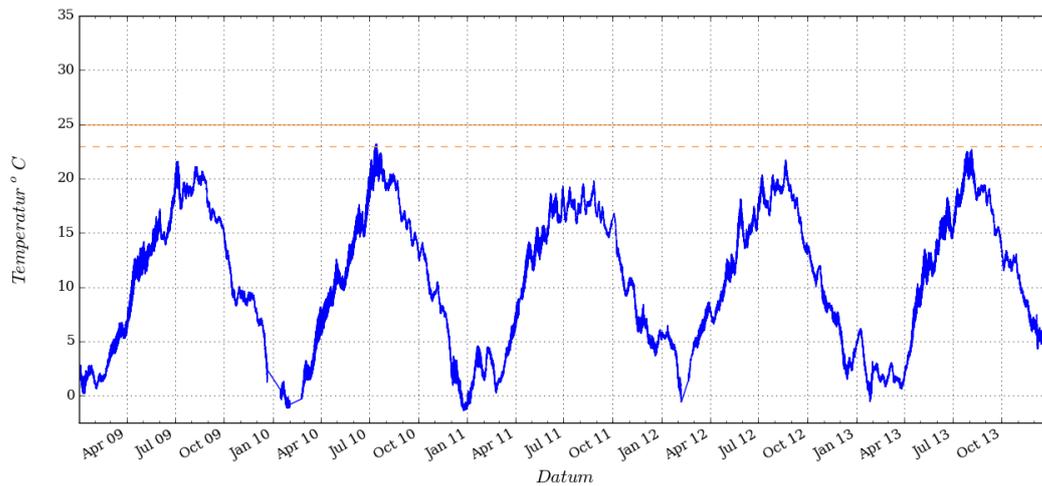
a)

Wassertemperatur Weser - Leuchtturm Alte Weser



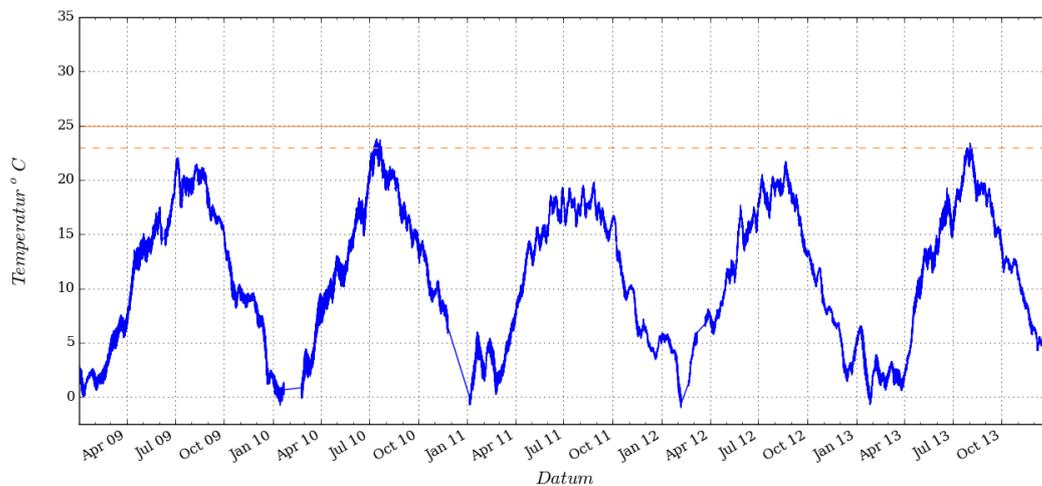
b)

Wassertemperatur Weser - Dwarsgat



c)

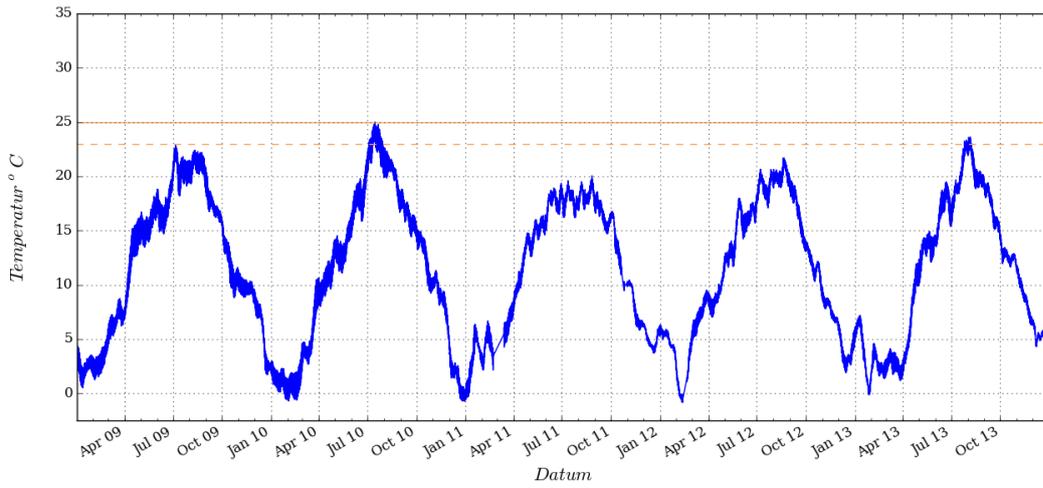
Wassertemperatur Weser - Robensüdsteert





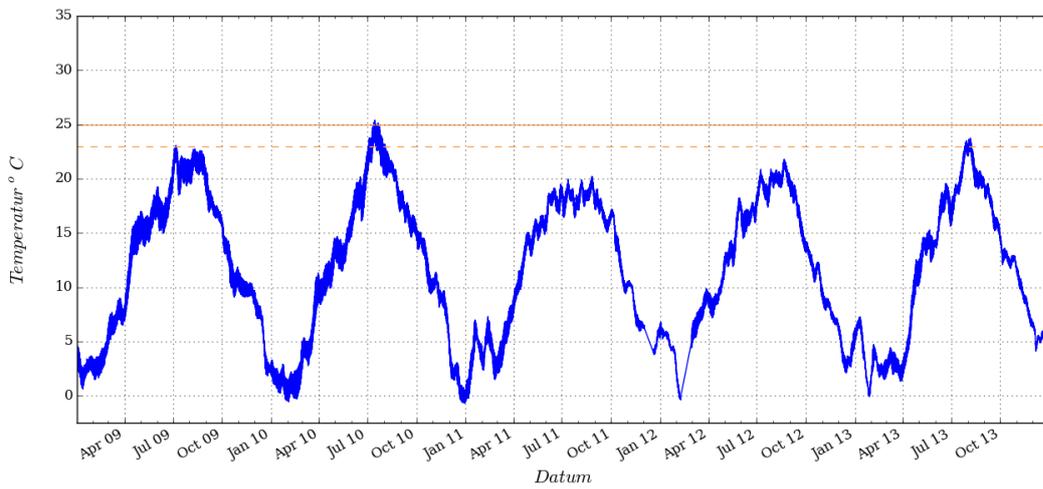
d)

Wassertemperatur Weser - BHV Alter Leuchtturm



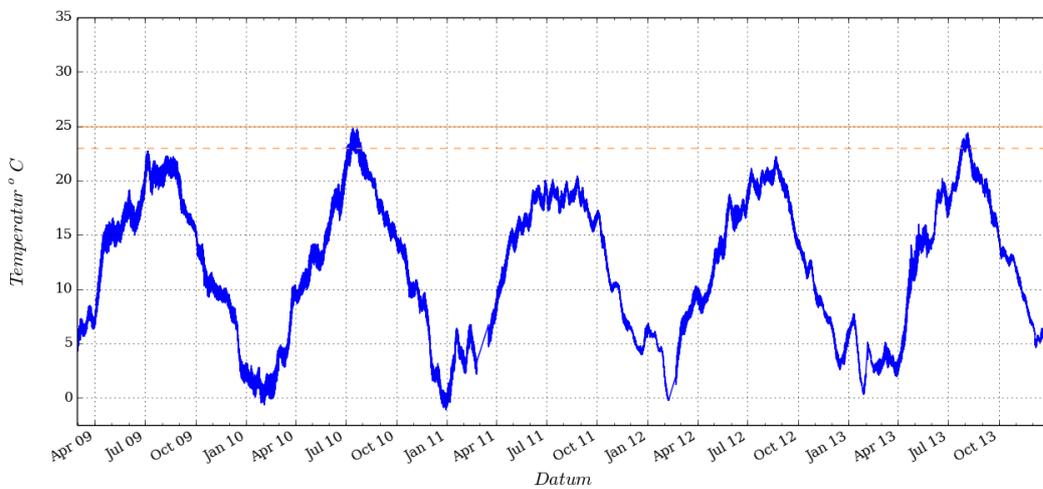
e)

Wassertemperatur Weser - Blexen



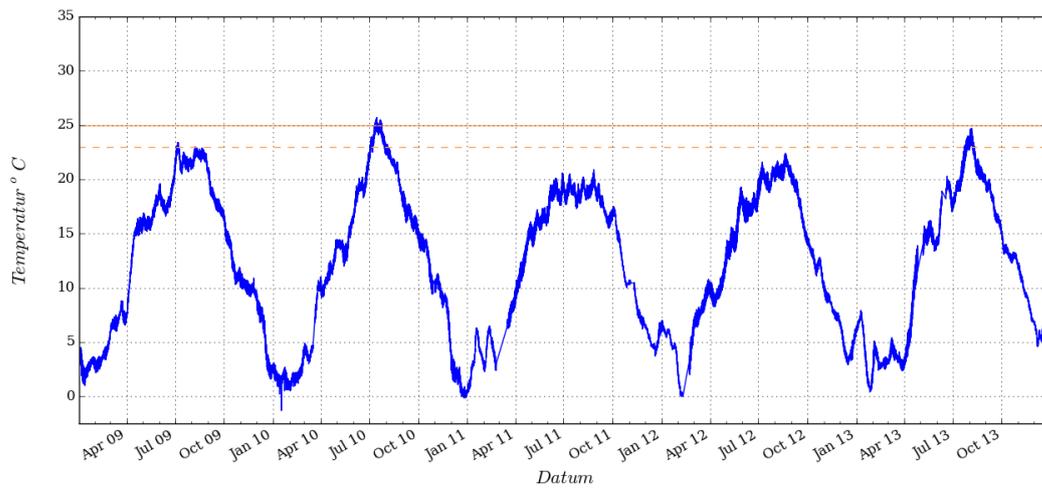
f)

Wassertemperatur Weser - Nordenham



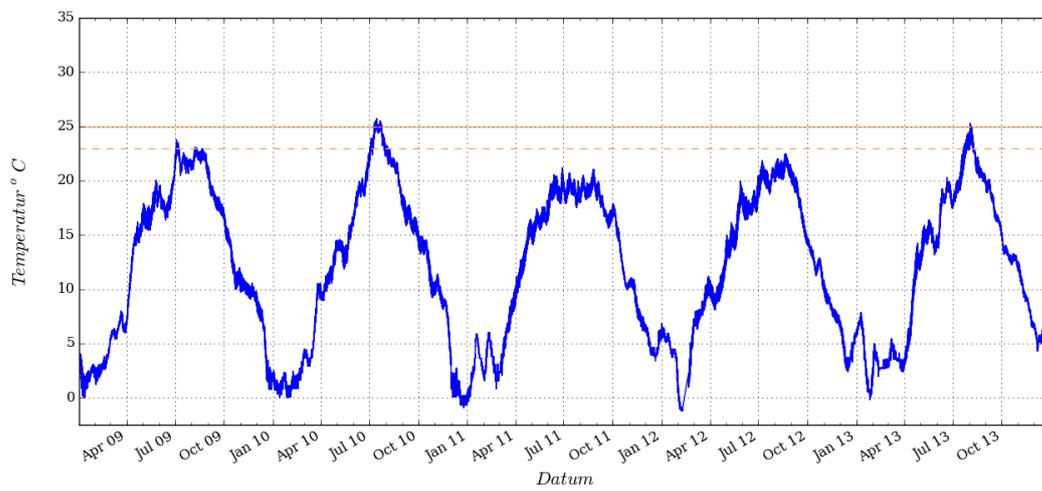
g)

Wassertemperatur Weser - Stohausenplate Ost



h)

Wassertemperatur Weser - Rechtenfleth



i)

Wassertemperatur Weser - Brake

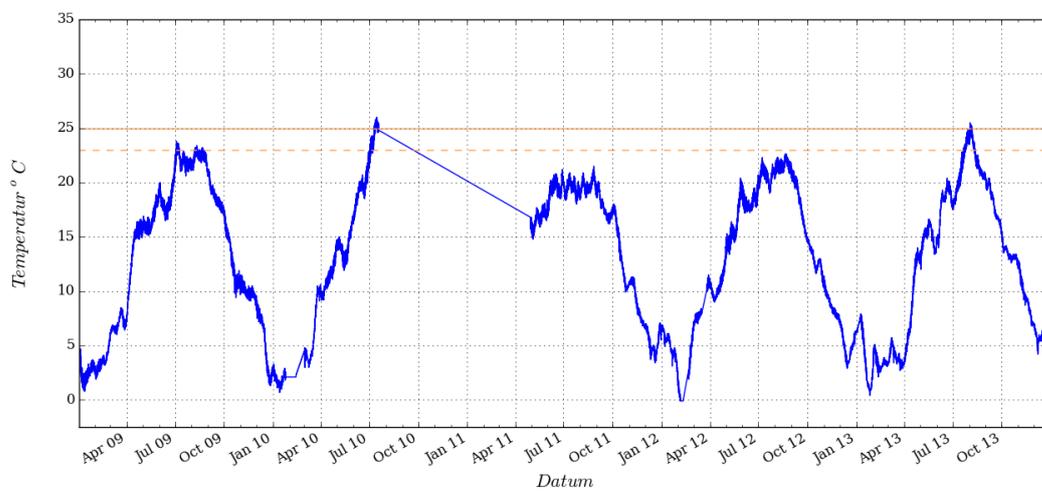


Abb. 62: Zeitreihen der Wassertemperatur in der Weser: Dargestellt sind Zeitreihen an den Pegel-Messstationen des WSA Bremerhaven von der Station Leuchtturm Alte Weser (a) bis Brake.

12.2.4 Zeitserien der Wassertemperatur in der Elbe

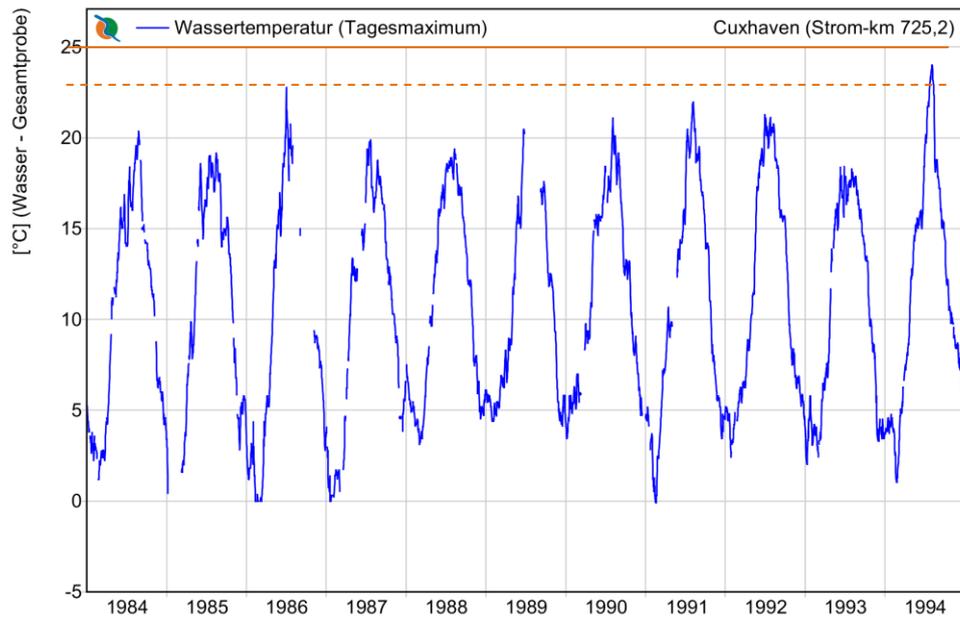


Abb. 63: Zeitreihe der Wassertemperatur in der Elbe bei Cuxhaven für den Zeitraum 1984 – 1994 (Daten aus dem Fachinformationssystem der FGG Elbe, abgerufen am 7.7.2014).

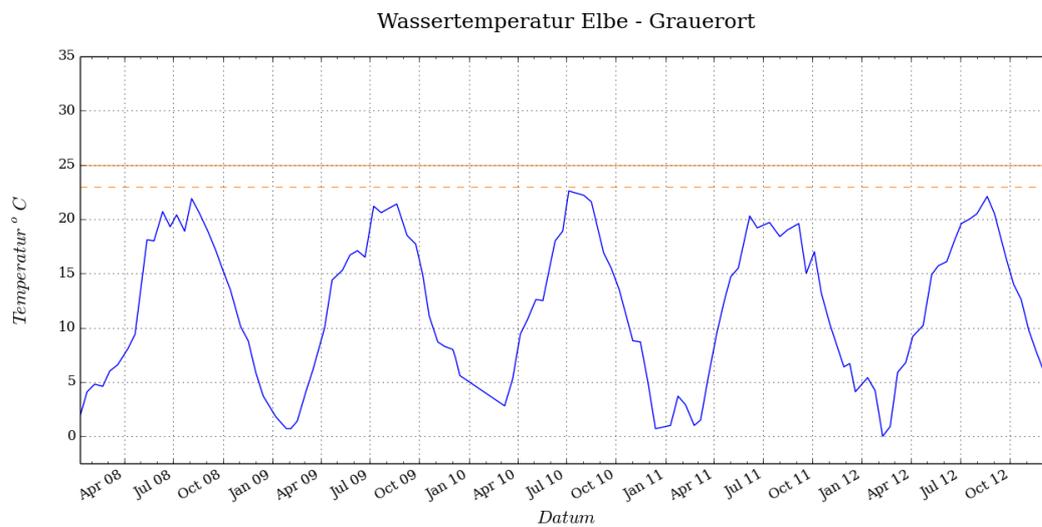


Abb. 64: Zeitserie der Wassertemperatur in der Elbe (Grauerort). Die Lage der Station ist in Abb. 5 dargestellt.

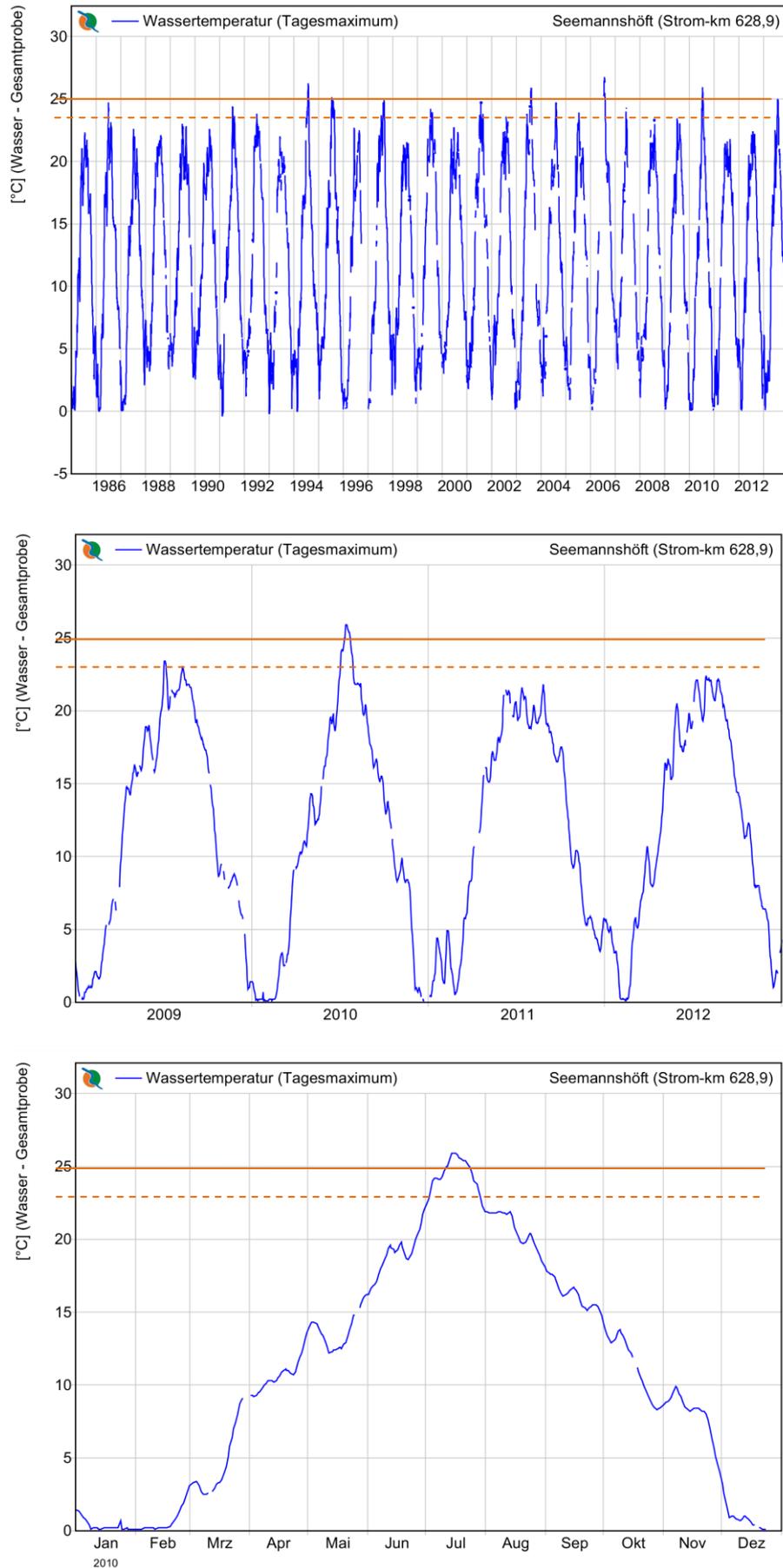


Abb. 65: Zeitreihe der Wassertemperatur in der Elbe bei Seemannshöft für den Zeitraum 1985 – 2013 (Fachinformationssystem der FGG Elbe, abgerufen am 7.7.2014).



12.3 Landsat-Aufnahmen mit Ausschnitten für ausgewählte Kraftwerke

12.3.1 EON-Kraftwerk Wilhelmshaven (Jadebusen)

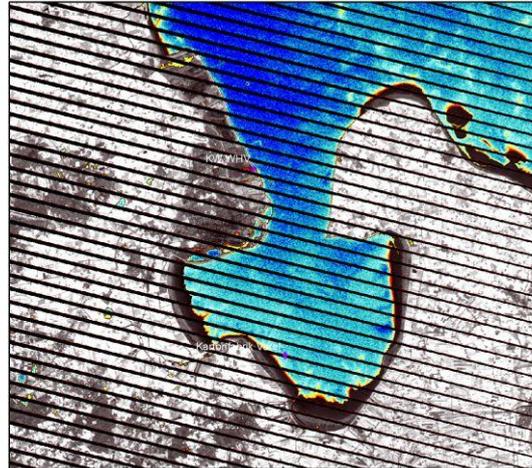
2005-301

Einleiter Jade



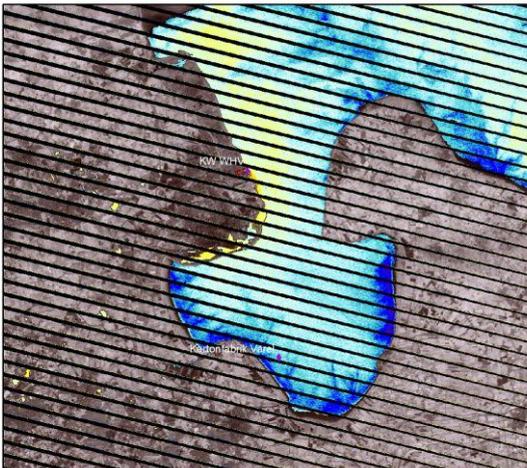
2007-91

Einleiter Jade



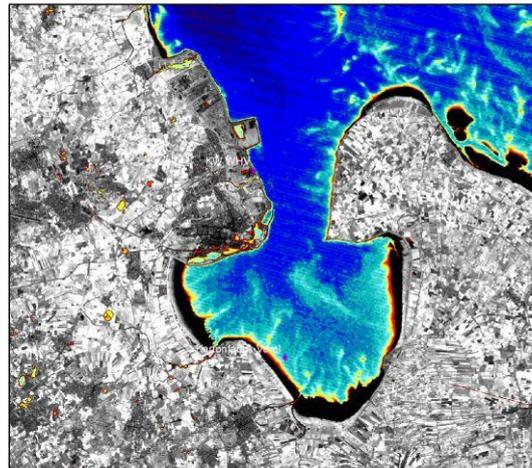
2007-283

Einleiter Jade



2010-178

Einleiter Jade



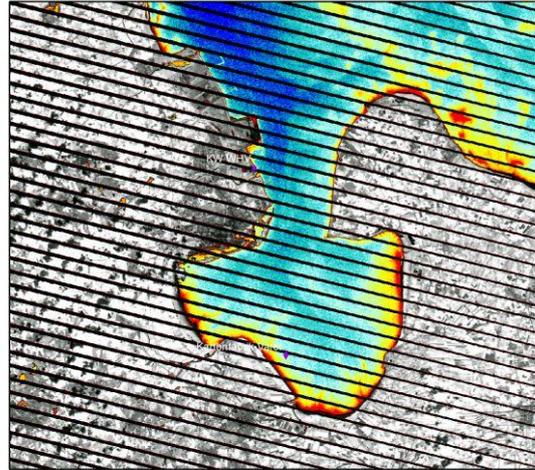
2011-86

Einleiter Jade



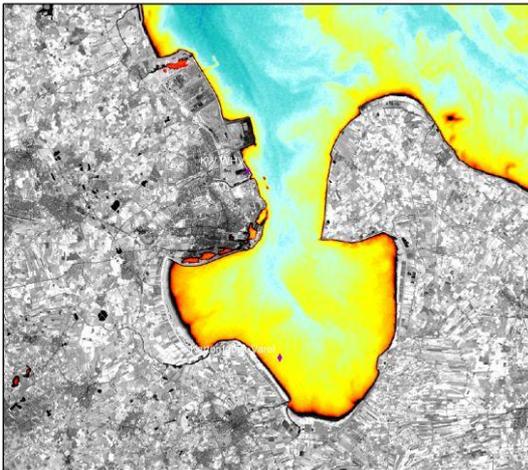
2013-187

Einleiter Jade



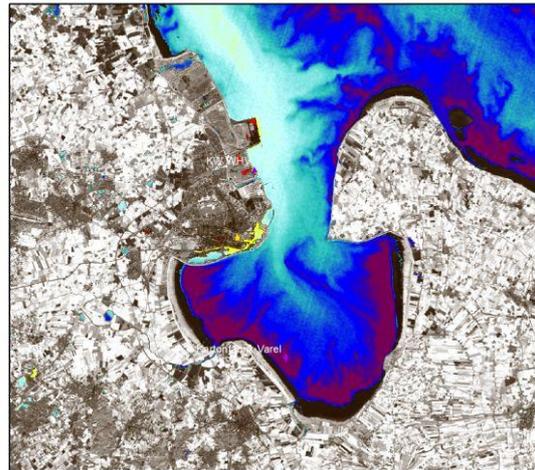
2013-202

Einleiter Jade



2013-275

Einleiter Jade



2014-30

Einleiter Jade

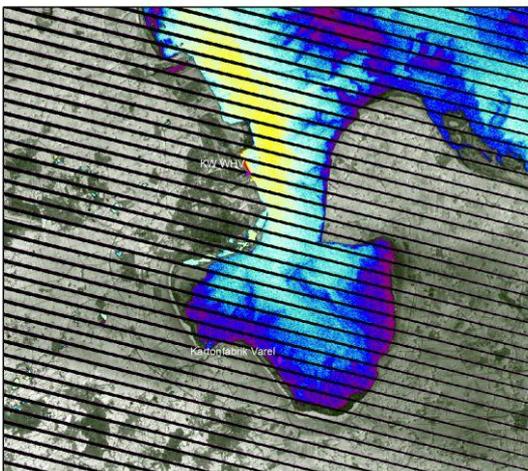
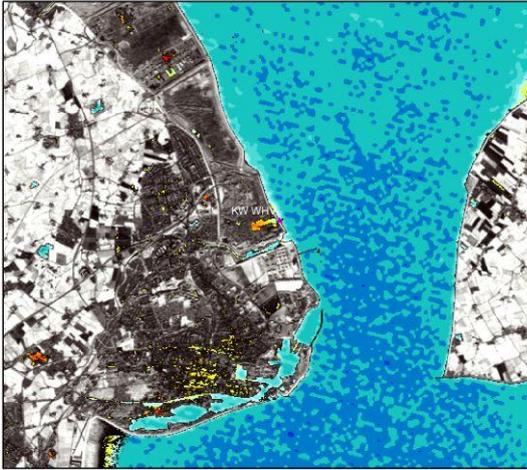


Abb. 66: Ausschnitte von Landsat-Satellitenszenen zur Darstellung der Wassertemperatur im Bereich des Kernkraftwerkes WHV im Jadebusen an verschiedenen Aufnahmezeitpunkten.

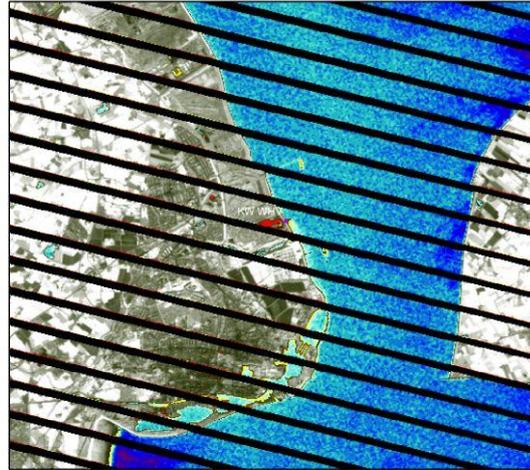
2005-301

KW WHV



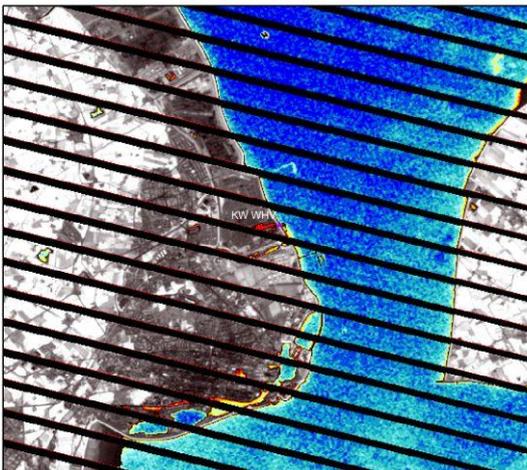
2006-264

KW WHV



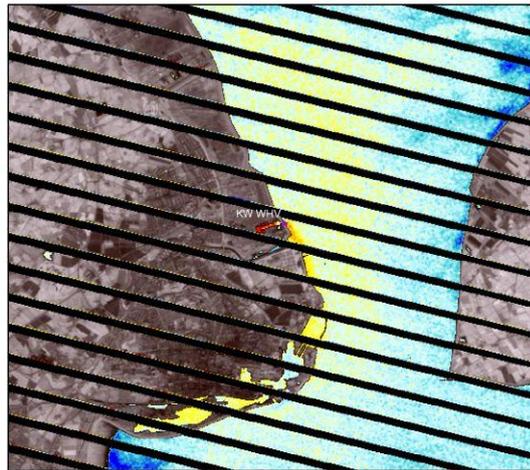
2007-91

KW WHV



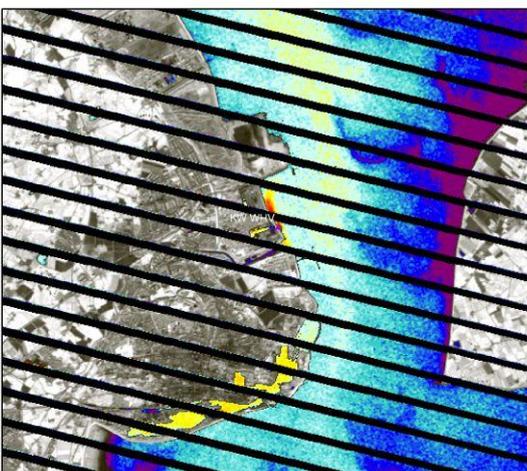
2007-283

KW WHV



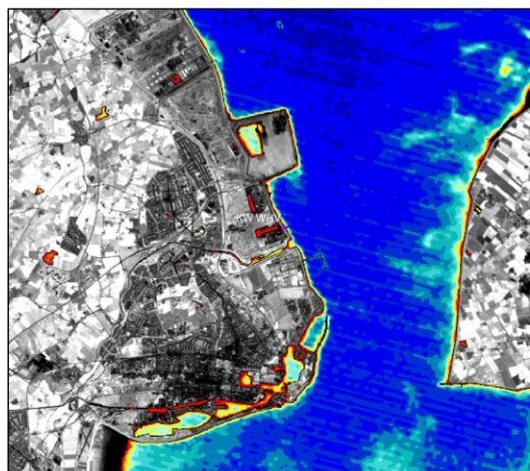
2009-288

KW WHV



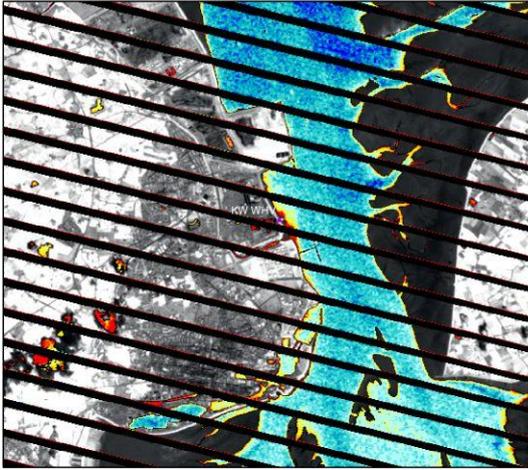
2010-178

KW WHV



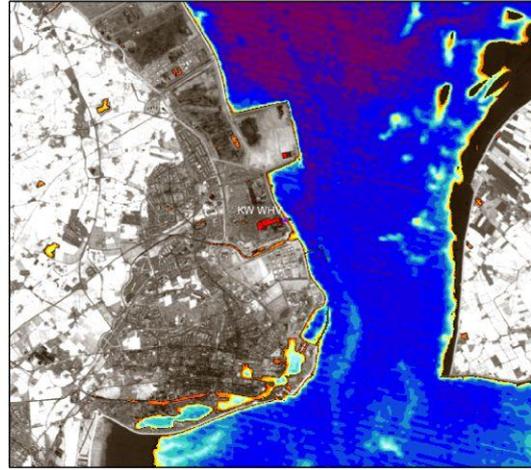
2011-86

KW WHV



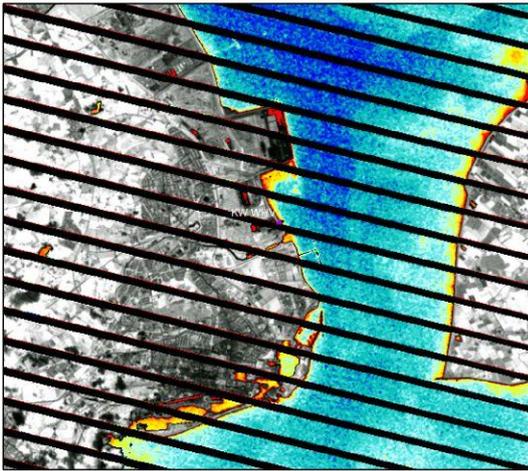
2011-110

KW WHV



2013-187

KW WHV



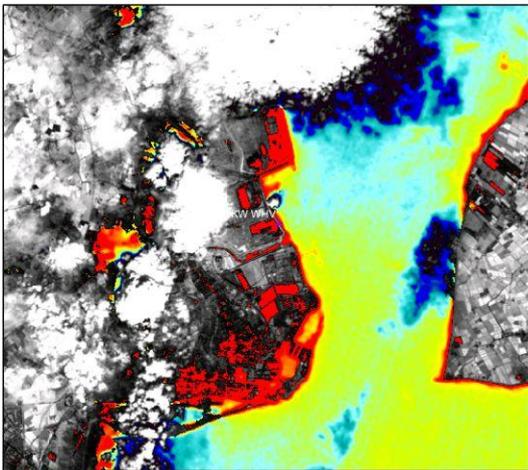
2013-202

KW WHV



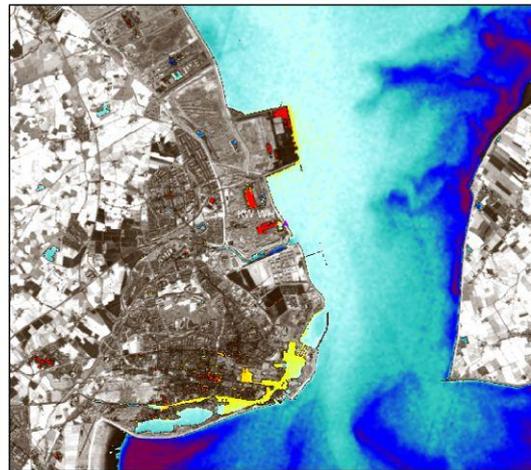
2013-234

KW WHV



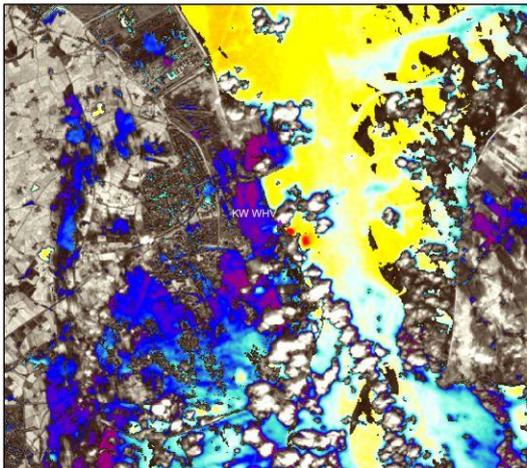
2013-275

KW WHV



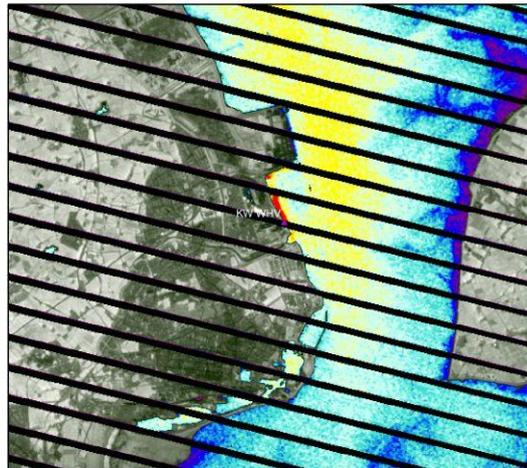
2013-330

KW WHV



2014-30

KW WHV



2014-69

KW WHV

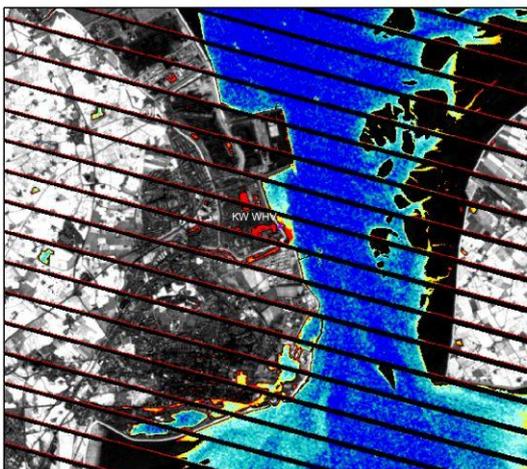
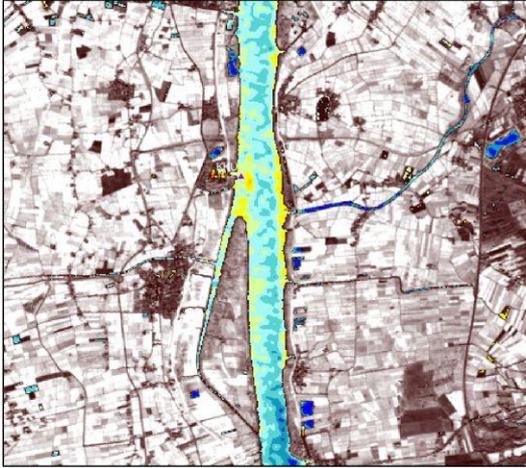


Abb. 67: Ausschnitte von Landsat-Satellitenszenen zur Darstellung der Wassertemperatur im Bereich des Kernkraftwerkes WHV im Jadebusen an verschiedenen Aufnahmezeitpunkten.

12.3.2 Kernkraftwerk Unterweser

2005-285

KK Unterweser



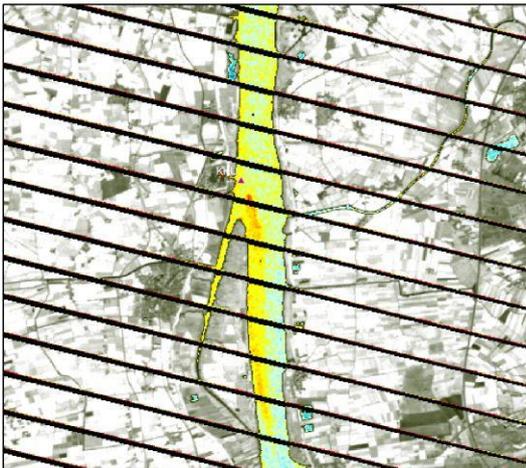
2005-301

KK Unterweser



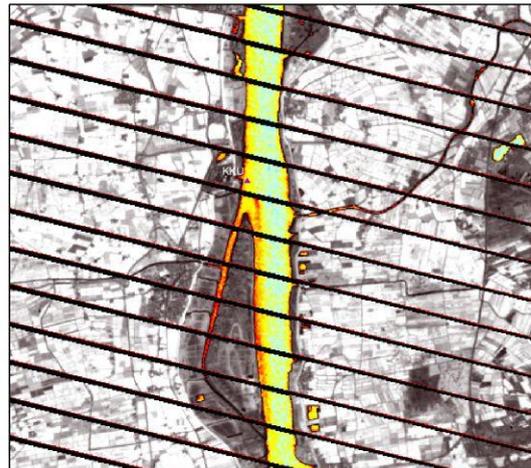
2006-264

KK Unterweser



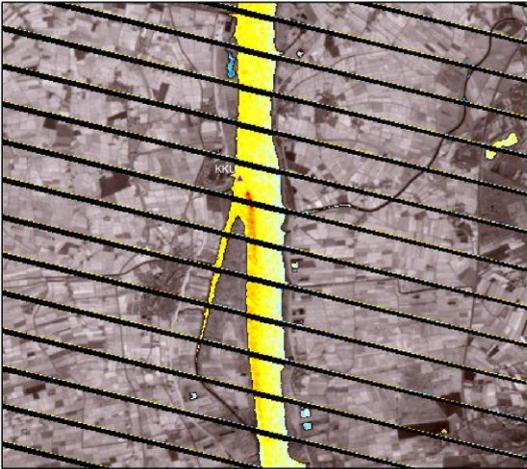
2007-91

KK Unterweser



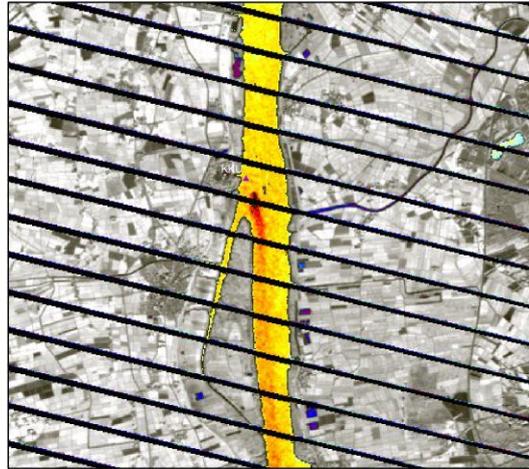
2007-283

KK Unterweser



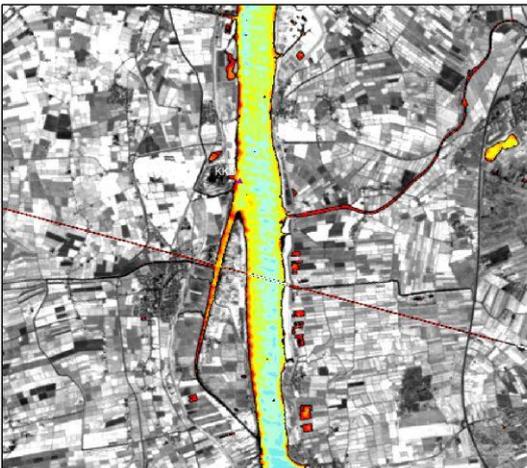
2009-288

KK Unterweser



2010-178

KK Unterweser



2011-110

KK Unterweser



2013-330

KK Unterweser

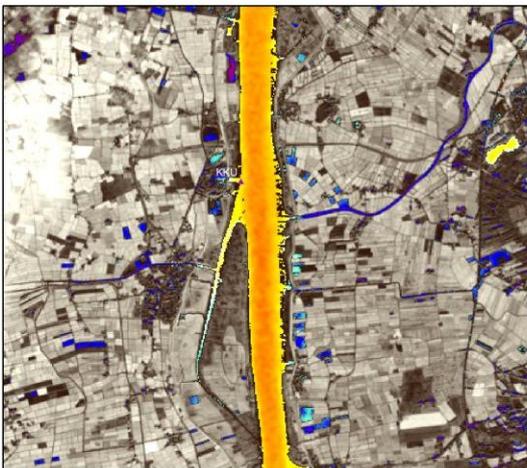
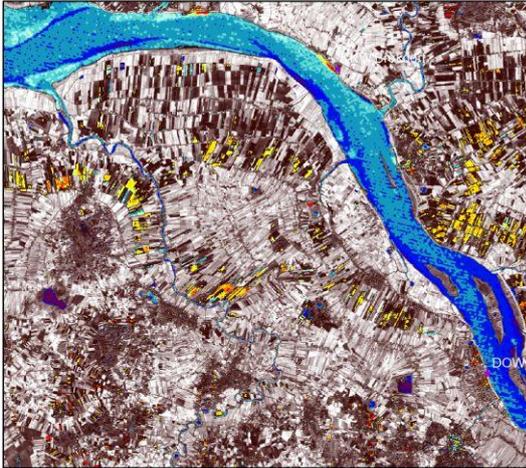


Abb. 68: Ausschnitte von Landsat-Satellitenszenen zur Darstellung der Wassertemperatur im Bereich des Kernkraftwerkes Brokdorf an verschiedenen Aufnahmezeitpunkten.

12.3.3 Kraftwerk Brokdorf

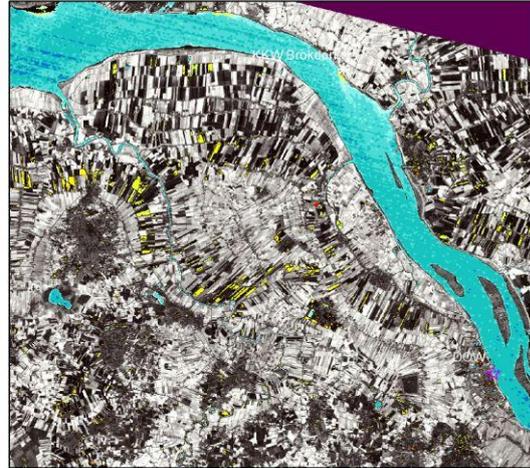
2005-285

Einleiter Elbe



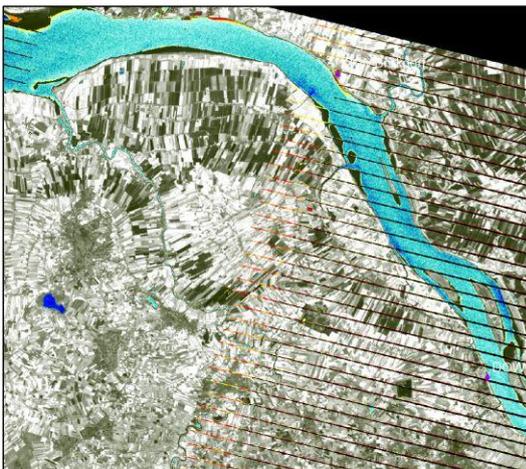
2005-301

Einleiter Elbe



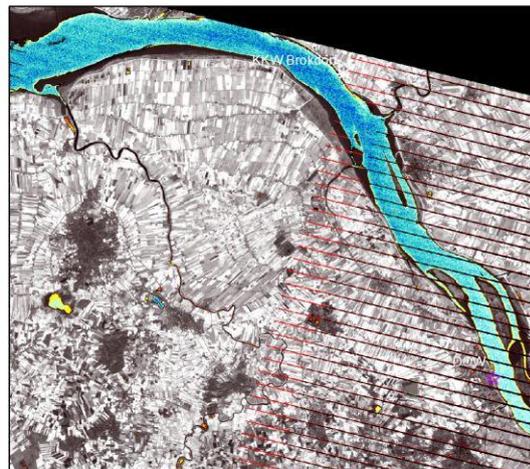
2006-204

Einleiter Elbe



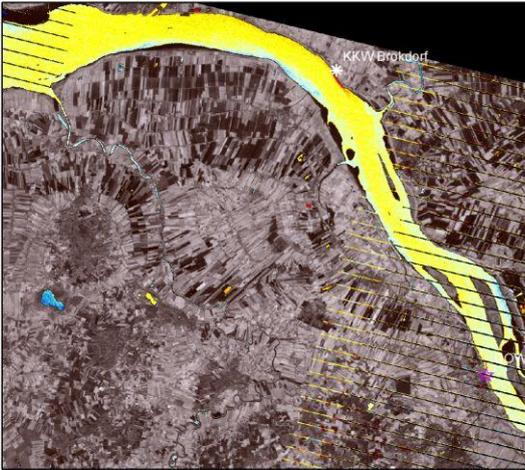
2007-91

Einleiter Elbe



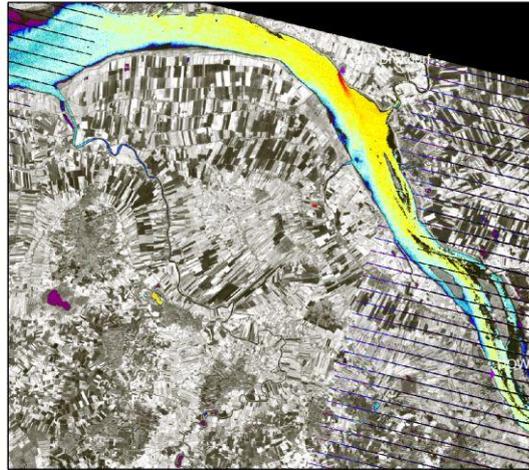
2007-283

Einleiter Elbe



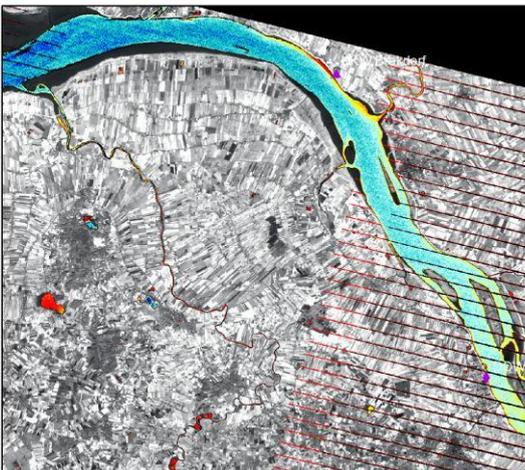
2009-288

Einleiter Elbe



2011-86

Einleiter Elbe



2011-275

Einleiter Elbe



2013-275

Einleiter Elbe

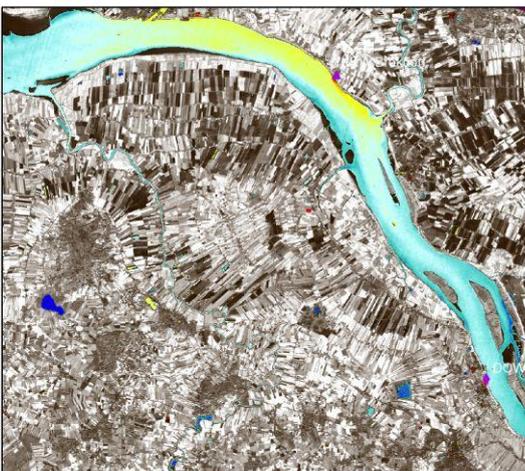


Abb. 69: Ausschnitte von Landsat-Satellitenszenen zur Darstellung der Wassertemperatur im Bereich des Kernkraftwerkes Brokdorf an verschiedenen Aufnahmezeitpunkten.

12.4 Wassertemperatur und biologische Effekte bei Fischen

Tab. 59: Temperaturangaben von Fischarten, die für die Elbe bzw. Jade relevant sind und die entsprechenden Literaturquellen.

Ref TEL: Art des faunistischen Referenzbildes der Tideelbe nach Gaumert (2006); Jade: Art kommt in der Jade vor. Die beiden Spalten "September SST" und "Februar SST" geben die potentiell mögliche Spanne der Wasseroberflächentemperaturen (SST) im Herbst und Winter für die Regionen an, in denen die Art weltweit gefunden wurde.

Letaltemperatur: (IULT) anfängliche Temperatur, bei der einige Organismen zu sterben beginnen, (CLMax) chronisches tödliches Temperaturmaximum, Methodik bei die Testfische langsam an immer höhere Temperaturen angepasst werden, bis sie schließlich sterben, ULT Temperatur, bei der die Tiere sterben.

Relevant für	Vork. Ref TEL und/oder Jade	Altersstadium	September (Spanne) SST °C		Februar (Spanne) SST °C		Klima des Verbr.-gebietes °C	Laichzeit	Temperatur, die die Laichwanderung indiziert °C	Laichtemperatur °C	Vorzugstemperatur °C	Optimale Wachstumstemperatur °C	Vermeidungstemperatur °C	oberer eingeschränkter Bereich °C	Letaltemperatur °C	Akklimationstemperatur °C	Quelle	zitiert aus	
			Min	Max	Min	Max													
Abramis ballerus (Zope)	Ref TEL	Adult						April-Mai									Muus & Dahlströhm 1978a		
Abramis bjoerkna (Güster)	Ref TEL	Adult						Mai-Juni									Muus & Dahlströhm 1978a		
Abramis brama (Brachsen, Blei)	Ref TEL	Adult						Mai - Juli									Muus & Dahlströhm 1978a		
										12-20		19.0			30,2-35,7	20-25,7	Alabaster & Lloyd 1980	Turnpenny & Liney 2006	
Acipenser sturio (Atl. Stör)	Ref TEL	Adult								7,7-22							Chalikov 1949 aus Holcik et al 1989	Otto & Zahn 2008	
									Juni - Juli								Muus & Dahlströhm 1978a		
											17-18							Wolter et al. 2003	Otto & Zahn 2008
											15-20							Kirschbaum & Gessner 2001	Otto & Zahn 2008
						10-18										Froese & Pauly 2008	Otto & Zahn 2008		
Agonus cataphractus (Steinpicker)	Jade	Adult						Feb.-April									Muus & Dahlströhm 1978b		
			-0.3	20.4	Ice	12.6											http://neo.sci.gsfc.nasa.gov/Search.html?datasetId=MYD28M	BEEMS 2011	
													9.5				Power & Attrill 2002	BEEMS 2011	
Alburnus alburnus (Ukelei)	Ref TEL	Adult								14.0					37.7	25,7-26,2	Alabaster & Lloyd 1980	Turnpenny & Liney 2006	
									April-Juni									Muus & Dahlströhm 1978a	

Relevant für	Vork. Ref TEL und/ oder Jade	Altersstadium	September (Spanne) SST °C		Februar (Spanne) SST °C		Klima des Verbr.- gebietes °C	Laichzeit	Tempera-tur, die die Laich-wanderung indiziert °C	Laich-tempera-tur °C	Vorzugs-tempera-tur °C	Optimale Wachs-tumstem-peratur °C	Vermei-dungs-tempera-tur °C	oberer einge-schränkter Bereich °C	Letal-tempe-ratur °C	Akklima-tisations-tempera-tur °C	Quelle	zitiert aus				
			Min	Max	Min	Max																
Alosa alosa (Maifisch)	Ref TEL	Adult	13	26.6	7.4	22.8												http://neo.sci.gsfc.nasa.gov/Search.html?datasetId=MYD28M	BEEMS 2011			
											22-24								Freyhof & Kottela 2008	BEEMS 2011		
											Beginn bei 15/16									Roule 1923 aus Quignard & Douchement 1991a	Otto & Zahn 2008	
											11									Acolasa et al. 2006	BEEMS 2011	
											Beginn bei 17-18										Dottrens 1952 aus Quignard & Douchement 1991a	Otto & Zahn 2008
												22-24									Dottrens 1952 aus Quignard & Douchement 1991a	Otto & Zahn 2008
										Beginn bei 17-19										Duhamel du Monceau 1772 aus Quignard & Douchement 1991a	Otto & Zahn 2008	
		Larval														35 (ULT)	?		Charles & Jatteau 2010	BEEMS 2011		
Eier										15-27				30 (ULT)	?		Charles & Jatteau 2010	BEEMS 2011				
Alosa falax (Finte)	Ref TEL	Adult	1.9	24.2	-1	21.6													http://neo.sci.gsfc.nasa.gov/Search.html?datasetId=MYD28M	BEEMS 2011		
											11-12									de Groot 2002	Otto & Zahn 2008	
																				Muus & Dahlströhm 1978a		
																				Hass 1968	Otto & Zahn 2008	
											Beginn bei 12,7 in der Elbe beobachtet										Froese & Pauly 2008	Otto & Zahn 2008
											15-20											Otto & Zahn 2008
										10,6-12,3										Aprahamian 1988	BEEMS 2011	
		Larval										> 21,5								?	BEEMS 2011	
										17-21,5									Gerken & Thiel 2001	Otto & Zahn 2008		
Eier										15-25									Vincent 1894 aus	Otto & Zahn		

Relevant für	Vork. Ref TEL und/oder Jade	Altersstadium	September (Spanne) SST °C		Februar (Spanne) SST °C		Klima des Verbr.-gebietes °C	Laichzeit	Temperatur, die die Laichwanderung indiziert °C	Laichtemperatur °C	Vorzugstemperatur °C	Optimale Wachstumstemperatur °C	Vermeidungstemperatur °C	oberer eingeschränkter Bereich °C	Letaltemperatur °C	Akklimationstemperatur °C	Quelle	zitiert aus	
			Min	Max	Min	Max													
																	Quignard & Douchement 1991b	2008	
Anguilla anguilla (Aal)	Ref Tel; Jade	Adult	0.2	27.8	Ice	27.7											http://neo.sci.gsfc.nasa.gov/Search.html?datasetId=MYD28M	BEEMS 2011	
											22-23				38.0	29.0	Sadler 1979	Turnpenny & Liney 2006, BEEMS 2011	
												18-25				35.0		Wolter et al. 2003	Otto & Zahn 2008
												8-29				30-39		Elliott 1981	Otto & Zahn 2008
		Juvenil											16-19				Haro 1991	BEEMS 2011	
								Ersch. Glasaale an der Nordseeküste Feb. - März								Muus & Dahlströhm 1978a			
Aspius aspius (Rapfen)	Ref TEL	Adult								9-17							Alabaster & Lloyd 1980	Otto & Zahn 2008	
									April-Juni								Muus & Dahlströhm 1978a		
											5-8				30		Wolter et al. 2003	Otto & Zahn 2008	
								4-20									Froese & Pauly 2008	Otto & Zahn 2008	
Atherina presbyter (Ährenfisch)	Jade	Adult	13.4	27.4	7.8	24.7											http://neo.sci.gsfc.nasa.gov/Search.html?datasetId=MYD28M	BEEMS 2011	
												11,2-13,5					Pombo et al. 2005	BEEMS 2011	
											10-17						Turnpenny 1981	Turnpenny & Liney 2006	
Barbatula barbatula (Schmerle)	Ref TEL	Adult								18-20							Alabaster & Lloyd 1980	Turnpenny & Liney 2006	
									April-Mai								Muus & Dahlströhm 1978a		
Barbus barbus (Barbe)	Ref TEL	Adult						Mai-Juni									Muus & Dahlströhm 1978a		

Relevant für	Vork. Ref TEL und/oder Jade	Altersstadium	September (Spanne) SST °C		Februar (Spanne) SST °C		Klima des Verbr.-gebietes °C	Laichzeit	Temperatur, die die Laichwanderung indiziert °C	Laichtemperatur °C	Vorzugstemperatur °C	Optimale Wachstumstemperatur °C	Vermeidungstemperatur °C	oberer eingeschränkter Bereich °C	Letaltemperatur °C	Akklimationstemperatur °C	Quelle	zitiert aus															
			Min	Max	Min	Max																											
Carassius carassius (Karasche)	Ref TEL	Adult						Mai-Juni, Temp.>14°C, besser 19-20°C									Muus & Dahlströhm 1978a																
Carassius gibelio (Gibel)	Ref TEL	Adult						Apr.-Mai									Muus & Dahlströhm 1978a																
Chondrostoma nasus (Nase)	Ref TEL	Adult						März-Mai									Muus & Dahlströhm 1978a																
Clupea harengus (Hering)	Jade	Adult	-0.9	24.7	Ice	17.8												http://neo.sci.gsfc.nasa.gov/Search.html?datasetId=MYD28M	BEEMS 2011														
																			?	Reid et al. 1999	BEEMS 2011												
																					22-24 (ULT)	Blaxter 1960	BEEMS 2011										
																						19,5-21,2 (ULT)	Brawn 1960	BEEMS 2011									
																							≤10 (Thames)	Power et al. 2000	BEEMS 2011								
									1-18															Froese & Pauly 2008	Otto & Zahn 2008								
										Frühj. u. Herbstlaicher															Muus & Dahlströhm 1978b								
		Juvenil												8-12										19,5-21,2 (IULT)	?	Reid et al. 1999	BEEMS 2011						
														7.0													Saat & Veer-salu 1996	BEEMS 2011					
															10-16													Reid et al. 1999	BEEMS 2011				
		Larval															16.0												Reid et al. 1999	BEEMS 2011			
																														22-24 (ULT)	7,5-15,5	Baxter 1960	BEEMS 2011
																														20,5-23,5 (ULT)	7-9	Yin & Blaxter 1987	BEEMS 2011
																												16.0			Reid et al. 1999	BEEMS 2011	
Eier																															Ojaveer 1981; Dempsey & Bamber	BEEMS 2011	

Relevant für	Vork. Ref TEL und/oder Jade	Altersstadium	September (Spanne) SST °C		Februar (Spanne) SST °C		Klima des Verbr.-gebietes °C	Laichzeit	Temperatur, die die Laichwanderung indiziert °C	Laichtemperatur °C	Vorzugstemperatur °C	Optimale Wachstumstemperatur °C	Vermeidungstemperatur °C	oberer eingeschränkter Bereich °C	Letaltemperatur °C	Akklimationstemperatur °C	Quelle	zitiert aus	
			Min	Max	Min	Max													
																	1983		
												10-15					MacFarland 1931	Otto & Zahn 2008	
												12-15 (George Bank, Canada); 6-13 (Nantucket Shoals); 8-12 (Grand Manan Island, Canada)			20.0	?	Reid et al. 1999	BEEMS 2011, Otto & Zahn 2008	
Cobitis taenia (Steinbeißer)	Ref TEL	Adult						April-Juni									Muus & Dahlströhm 1978a		
Coregonus oxyrhynchus (Nordseeschnäpel)	Ref TEL	Adult						Spätherbst - Winter Temp. <7°C									Muus & Dahlströhm 1978a		
											5; 6 bzw. 7							Ikonen 1982; Klein-Breteler 1983 aus Scheffel 1999	Otto & Zahn 2008
Cyprinus carpio (Karpfen)	Ref TEL	Adult						Mai-Juli, Temp. >18-20°C									Muus & Dahlströhm 1978a		
Dicentrarchus labrax (Wolfsbarsch)	Jade	Adult	1.7	27.8	Ice	25.5											http://neo.sci.gsfc.nasa.gov/Search.html?datasetId=MYD28M	BEEMS 2011	
											10-12							Kennedy & Fitzmaurice 1972	BEEMS 2011
										Mai - Aug.									Muus & Dahlströhm 1978b
		Juvenil											22-24			32	?	Barnabé 1991	BEEMS 2011
														23				?	Freitas et al. 2007
Engraulis encrasicolus (Sardelle)	Jade	Adult	12.4	23.5	7.4	15.5											http://neo.sci.gsfc.nasa.gov/Search.html?datasetId=MYD28M	BEEMS 2011	
									April - No-										Muus & Dahlströhm 1978b

Relevant für	Vork. Ref TEL und/ oder Jade	Altersstadium	September (Spanne) SST °C		Februar (Spanne) SST °C		Klima des Verbr.-gebietes °C	Laichzeit	Temperatur, die die Laichwanderung indiziert °C	Laichtemperatur °C	Vorzugstemperatur °C	Optimale Wachstumstemperatur °C	Vermeidungstemperatur °C	oberer eingeschränkter Bereich °C	Letaltemperatur °C	Akklimationstemperatur °C	Quelle	zitiert aus		
			Min	Max	Min	Max														
								vember Süd- england												
		Larval								Oberfl, 14,5-19; Boden 12-15							Planque et al. 2007	BEEMS 2011		
												>20				?	Petitgas 2008	BEEMS 2011		
															12-14 (ULT)		King et al. 1978; Brochier et al. 2008	BEEMS 2011		
Esox lucius (Hecht)	Ref TEL	Adult						Feb. - Mai									Muus & Dahlströhm 1978a			
										4-17						30-34	?	Alabaster & Lloyd 1980	Turnpenny & Liney 2006	
													23-24				?	Jobling 1981	Turnpenny & Liney 2006	
Gadus morhua (Kabeljau)	Jade	Adult	-0.9	24.3	Ice	16.2											http://neo.sci.gsfc.nasa.gov/Search.html?datasetId=MYD28M	BEEMS 2011		
		Adult						Frühjahr		4-6								Muus & Dahlströhm 1978b		
		Adult										10-15						Drinkwater 2005	BEEMS 2011	
		Adult														22,2? (ULT)	10?	?	BEEMS 2011	
													14					Freitas et al. 2007	BEEMS 2011	
											haupts. 4-7							Brander 1993	BEEMS 2011	
																		Drinkwater 2005	BEEMS 2011	
		Juvenil																9,3-16; abh. vom Hämoglobin-Typ	Petersen & Steffensen 2003	BEEMS 2011
																	23 (ULT)	12	Gamperl et al. 2007	BEEMS 2011
		Larval											7.9					Jordaan & Kling 2003	BEEMS 2011	
											14-16						Otterlei et al. 1999	BEEMS 2011		
															15,5-18 (ULT)	7-9	Yin & Blaxter 1987	BEEMS 2011		

Relevant für	Vork. Ref TEL und/oder Jade	Altersstadium	September (Spanne) SST °C		Februar (Spanne) SST °C		Klima des Verbr.-gebietes °C	Laichzeit	Temperatur, die die Laichwanderung indiziert °C	Laichtemperatur °C	Vorzugstemperatur °C	Optimale Wachstumstemperatur °C	Vermeidungstemperatur °C	oberer eingeschränkter Bereich °C	Letaltemperatur °C	Akklimationstemperatur °C	Quelle	zitiert aus			
			Min	Max	Min	Max															
Gasterosteus aculeatus (Dreist. Stichling)	Ref Tel; Jade	0- bis 1-jährige						März-Juli										Muus & Dahlströhm 1978a			
										4-8									Røed (1979)	Otto & Zahn 2008	
		Adult										9-12							Lechance et al 1987	Otto & Zahn 2008	
											13-18		15-22				30-35		Wolter et al. 2003	Otto & Zahn 2008	
											12-18		4-20						Elliott 1981	Otto & Zahn 2008	
											>20								Lam 1983	Otto & Zahn 2008	
									4-20										Froese & Pauly	Otto & Zahn 2008	
		Eier										18-19							Paepke 1996	Otto & Zahn 2008	
												20							Leiner 1934	Otto & Zahn 2008	
															>27 (IULT)		Elliott 1981	Otto & Zahn 2008			
Gobio gobio (Gründling)	Ref TEL	Adult								12.0						27,2-36,7	15-25,5	Alabaster & Lloyd 1980	Turnpenny & Liney 2006		
								Mai-Juni										Muus & Dahlströhm 1978a			
Gymnocephalus cernuus (Kaulbarsch)	Ref TEL	Adult														30-32		Lyle & Maitland 1997	Turnpenny & Liney 2006		
								Apr.-Mai											Muus & Dahlströhm 1978a		
Lampetra fluviatilis (Flussneunauge)	Ref Tel; Jade	Adult	3.3	23.5	-0.9	15.5												http://neo.sci.gsfc.nasa.gov/Search.html?datasetId=MYD28M	BEEMS 2011		
											9,0-16,0								Hardisty 1986b	Turnpenny & Liney 2006	
										Feb.-Mai										Muus & Dahlströhm 1978a	
												Beginn bei 10/11								Hardisty 1986a	Otto & Zahn 2008
												12-14								Tunainen et al. 1980	Otto & Zahn 2008
												>10-11								Kirchhofer 1995	Otto & Zahn 2008

Relevant für	Vork. Ref TEL und/ oder Jade	Altersstadium	September (Spanne) SST °C		Februar (Spanne) SST °C		Klima des Verbr.- gebietes °C	Laichzeit	Tempera-tur, die die Laich-wanderung indiziert °C	Laich-tempera-tur °C	Vorzugs-tempera-tur °C	Optimale Wachs-tumstem-peratur °C	Vermei-dungs-tempera-tur °C	oberer einge-schränkter Bereich °C	Letal-tempe-ratur °C	Akklima-tisations-tempera-tur °C	Quelle	zitiert aus	
			Min	Max	Min	Max													
										7-16					30.0		Wolter et al. 2003	Otto & Zahn 2008	
											15.0						Hardisty 1986a	Otto & Zahn 2008	
							5-18										Froese & Pauly 2008	Otto & Zahn 2008	
								<12-16 Herbst Fluss-aufwärts									Abou-Seedo & Potter 1979	BEEMS 2011	
										9-10, 10-11, 9-12,5 in Schweden in 3 aufeinanderfolgenden Jahren							Sjöberg 1974	Otto & Zahn 2008	
Leucaspis delineatus (Moderlieschen)	Ref TEL	Adult						April-Juni									Muus & Dahlströhm 1978a		
Leuciscus cephalus (Döbel)	Ref TEL	Adult								12.0					37,9-38,8	25,7-31	Alabaster & Lloyd 1980	Turnpenny & Liney 2006	
									Apr.-Juni									Muus & Dahlströhm 1978a	
Leuciscus idus (Aland)	Ref TEL	Adult						Apr.-Juni									Muus & Dahlströhm 1978a		
Leuciscus leuciscus (Hasel)	Ref TEL	Adult								5,0-9,0							Alabaster & Lloyd 1980	Turnpenny & Liney 2006	
			1.7	21.3	Ice	13.4											http://neo.sci.gsfc.nasa.gov/Search.html?datasetId=MYD28M	BEEMS 2011	
									März-Mai									Muus & Dahlströhm 1978a	
Limanda limanda (Kliesche)	Jade	Adult	1.7	20.4	Ice	12.6											http://neo.sci.gsfc.nasa.gov/Search.html?datasetId=MYD28M	BEEMS 2011	
													11,63 (modelliert)					Attrill & Power 2004	BEEMS 2011
									Jan-Aug.									Muus & Dahlströhm 1978b	
											2.5							Bolle et al. 1994	BEEMS 2011

Relevant für	Vork. Ref TEL und/oder Jade	Altersstadium	September (Spanne) SST °C		Februar (Spanne) SST °C		Klima des Verbr.-gebietes °C	Laichzeit	Temperatur, die die Laichwanderung indiziert °C	Laichtemperatur °C	Vorzugstemperatur °C	Optimale Wachstumstemperatur °C	Vermeidungstemperatur °C	oberer eingeschränkter Bereich °C	Letaltemperatur °C	Akklimationstemperatur °C	Quelle	zitiert aus				
			Min	Max	Min	Max																
		Juvenil										15,0-18,0					Bolle et al. 1994	BEEMS 2011				
Liparis liparis (Gr. Scheibenbauch)	Jade	Adult	-1	18	Ice	11											http://neo.sci.gsfc.nasa.gov/Search.html?datasetId=MYD28M	BEEMS 2011				
									Jan-März ?									?	BEEMS 2011			
Lota lota (Quappe)	Ref TEL	Adult																Muus & Dahlströhm 1978a				
											0,5-4,5	10-12				20-23		Hochleitner 2002	Otto & Zahn 2008			
																28-30		Wolter et al. 2003	Otto & Zahn 2008			
											4-20							Froese & Pauly 2008	Otto & Zahn 2008			
		Eier										0-4					Alabaster & Lloyd 1980	Otto & Zahn 2008				
Merlangius merlangus (Wittling)	Jade	Adult	1.7	24.3	Ice	16.2												http://neo.sci.gsfc.nasa.gov/Search.html?datasetId=MYD28M	BEEMS 2011			
																				Loots et al. 2011	BEEMS 2011	
														12,56 (modelliert)						Attrill & Power 2004	BEEMS 2011	
																				Muus & Dahlströhm 1978b		
Misgurnus fissilis (Schlammpeitzger)	Ref TEL	Adult																Muus & Dahlströhm 1978a				
Mullus surmuletus (Streifenbarbe)	Jade	Adult	12.4	27.5	7.4	24.7													http://neo.sci.gsfc.nasa.gov/Search.html?datasetId=MYD28M	BEEMS 2011		
																				Maravelias et al. 2006	BEEMS 2011	
																					Machias et al. 1998	BEEMS 2011
																					Muus & Dahlströhm 1978b	
Osmeperus eperlanus (Stint)	Ref Tel; Jade	Adult	1.9	20.4	-1	12.6												http://neo.sci.gsfc.nasa.gov/Search.html?datasetId=MYD28M	BEEMS 2011			

Relevant für	Vork. Ref TEL und/oder Jade	Altersstadium	September (Spanne) SST °C		Februar (Spanne) SST °C		Klima des Verbr.-gebietes °C	Laichzeit	Temperatur, die die Laichwanderung indiziert °C	Laichtemperatur °C	Vorzugstemperatur °C	Optimale Wachstumstemperatur °C	Vermeidungstemperatur °C	oberer eingeschränkter Bereich °C	Letaltemperatur °C	Akklimationstemperatur °C	Quelle	zitiert aus							
			Min	Max	Min	Max																			
								Ende Feb.-Anf. Mai		6,0-9,0							Muus & Dahlströhm 1978b								
													12.0					Lyle & Maitland 1997	Turnpenny & Liney 2006						
																			Keskinen et al. 2009	BEEMS 2011					
																				Wolter et al. 2003	Otto & Zahn 2008				
																					Hutchinson & Mills 1987	BEEMS 2011			
																						Alabaster & Lloyd 1980	Otto & Zahn 2008		
Perca fluviatilis (Flussbarsch)	Ref TEL	Adult						März-Juni		6,0-15,0								Muus & Dahlströhm 1978a							
																				Alabaster & Lloyd 1980	Turnpenny & Liney 2006				
														23,7/26,8							Jobling 1981	Turnpenny & Liney 2006			
Petromyzon marinus (Meer- neunauge)	Ref Tel; Jade	Adult	1.7	24.7	Ice	22													http://neo.sci.gsfc.nasa.gov/Search.html?datasetId=MYD28M	BEEMS 2011					
									Feb.-Juni												Muus & Dahlströhm 1978b				
															15							Farmer et al. 1977 Jobling 1981	BEEMS 2011		
																						Hardisty 1986a	Otto & Zahn 2008		
																							Beamish 1980	Otto & Zahn 2008	
																							Farmer 1980	Otto & Zahn 2008	
																								Reynolds & Casterlin 1978	BEEMS 2011
																									Holmes & Lin 1994

Relevant für	Vork. Ref TEL und/ oder Jade	Altersstadium	September (Spanne) SST °C		Februar (Spanne) SST °C		Klima des Verbr.-gebietes °C	Laichzeit	Temperatur, die die Laichwanderung indiziert °C	Laichtemperatur °C	Vorzugstemperatur °C	Optimale Wachstumstemperatur °C	Vermeidungstemperatur °C	oberer eingeschränkter Bereich °C	Letaltemperatur °C	Akklimationstemperatur °C	Quelle	zitiert aus		
			Min	Max	Min	Max														
		Larval								15-16					30		Wolter et al. 2003	Otto & Zahn 2008		
													19 (max. Gewichtszunahme)					Rodriguez-Munoz et al. 2001	BEEMS 2011	
																31 (ULT)	25	Potter & Beamish 1975	BEEMS 2011	
																31,4 (IULT)		Macey & Potter 1978	Otto & Zahn 2008	
														10-19				Reynolds & Casterlin 1978	Otto & Zahn 2008	
									5-20										Froese & Pauly 2008	Otto & Zahn 2008
																31,4 (LT50)		Macey & Potter 1978	Otto & Zahn 2008	
		Eier												25		McCauley 1963	Otto & Zahn 2008			
Platichthys flesus (Flunder)	Ref Tel; Jade	Adult	1.7	24.7	Ice	19.6											http://neo.sci.gsfc.nasa.gov/Search.html?datasetId=MYD28M	BEEMS 2011		
									Jan.-April									Muus & Dahlströhm 1978b		
													18.0					Fonds et al. 1992	BEEMS 2011	
													20.0					Freitas et al. 2007	BEEMS 2011	
																26,0-27,0		Waede 1954 in Fonds et al. 1992	Turnpenny & Liney 2006	
												12-16	21-23				31.0		Wolter et al. 2003	Otto & Zahn 2008
											10-12,2								Sims et al. 2004	BEEMS 2011
								5-25										Froese & Pauly 2008	Otto & Zahn 2008	
		Larval												21,5-24 (ULT)	?	Yin & Blaxter 1987	BEEMS 2011			
Pleuronectes platessa (Scholle)	Jade	Adult	1.5	26.6	Ice	22.8											http://neo.sci.gsfc.nasa.gov/Search.html?datasetId=MYD28M	BEEMS 2011		
									Jan.-Aug.									Muus & Dahlströhm 1978b		
											16-17							Coutant 1977	BEEMS 2011	

Relevant für	Vork. Ref TEL und/ oder Jade	Altersstadium	September (Spanne) SST °C		Februar (Spanne) SST °C		Klima des Verbr.-gebietes °C	Laichzeit	Temperatur, die die Laichwanderung indiziert °C	Laichtemperatur °C	Vorzugstemperatur °C	Optimale Wachstumstemperatur °C	Vermeidungstemperatur °C	oberer eingeschränkter Bereich °C	Letaltemperatur °C	Akklimationstemperatur °C	Quelle	zitiert aus			
			Min	Max	Min	Max															
												18.0					Fonds et al. 1992	BEEMS 2011			
												20.0				?	Freitas et al. 2007	BEEMS 2011			
															26,0-27,0 (ULT)		Waede 1954 in Fonds et al. 1992	BEEMS 2011			
Pomatoschistus microps (Schlammgrundel)	Jade	Adult	11	26.6	7	22.8											http://neo.sci.gsfc.nasa.gov/Search.html?datasetId=MYD28M	BEEMS 2011			
									5-7									Jones & Miller 1966	BEEMS 2011		
											10,0-20,0								Fonds & van Buurt 1974	BEEMS 2011	
Pomatoschistus minutus (Sandgrundel)	Jade	Adult	1.8	24.3	Ice	16.2												http://neo.sci.gsfc.nasa.gov/Search.html?datasetId=MYD28M	BEEMS 2011		
											8,0-15,0							Wiederholm 1987	BEEMS 2011		
												Sommer - 16,6; Herbst -7,5		12,0-18,0			30 (ULT)	15	Hesthagen 1979	BEEMS 2011	
														20.0					Freitas et al. 2007	BEEMS 2011	
											5-7								Jones & Miller 1966	BEEMS 2011	
Psetta maxima (Steinbutt)	Jade	Adult	1.9	24.7	-1	19.6												http://neo.sci.gsfc.nasa.gov/Search.html?datasetId=MYD28M	BEEMS 2011		
																		Hara et al. 2002	BEEMS 2011		
														14-16					14-16BEEMS?	?	BEEMS 2011
																			Muus & Dahlströhm 1978b	BEEMS 2011	
		Juvenil																	Imsland et al. 2000	BEEMS 2011	
Larval																	Jones 1972	BEEMS 2011			
Pungitius pungitigius (Zwergstichling)	Ref TEL	Adult																Muus & Dahlströhm 1978a			
Rhodeus amarus (Bitterling)	Ref TEL	Adult																Muus & Dahlströhm 1978a			
Rutilus rutilus (Plötze,	Ref TEL	Adult								8,0-19,4		20,0-25,0			27,3-37,8	15-28,4		Alabaster & Lloyd 1980	Turnpenny & Liney 2006		
																		Muus & Dahlströhm			

Relevant für	Vork. Ref TEL und/ oder Jade	Altersstadium	September (Spanne) SST °C		Februar (Spanne) SST °C		Klima des Verbr.-gebietes °C	Laichzeit	Temperatur, die die Laichwanderung indiziert °C	Laichtemperatur °C	Vorzugstemperatur °C	Optimale Wachstumstemperatur °C	Vermeidungstemperatur °C	oberer eingeschränkter Bereich °C	Letaltemperatur °C	Akklimationstemperatur °C	Quelle	zitiert aus			
			Min	Max	Min	Max															
Rotauge)								Mai Wasser- temp.> 10°C									1978a				
Salmo salar (Lachs)	Ref TEL	Adult	1.7	23.5	Ice	15.5												http://neo.sci.gsfc.nasa.gov/Search.html?datasetId=MYD28M	BEEMS 2011		
										10-12									Solomon 1978	BEEMS 2011	
										Sept- Feb.										Muus & Dahlströhm 1978a	
												1,0-6,0		9,0-17,0						Alabaster & Lloyd 1980	Turnpenny & Liney 2006
														9-17	15,1					Jobling 1981	BEEMS 2011
															13(Post-smolt)					Jonsson & Jonsson 2009	BEEMS 2011
																	27.8			Jobling 1981	Turnpenny & Liney 2006
														13-15						Rosenthal & Munro 1985	Otto & Zahn 2008
														14-15						Fisher & Elson 1956 aus Rosenthal & Munro 1985	Otto & Zahn 2008
														18.0						Javaid & Anderson 1967a aus Rosenthal & Munro 1985	Otto & Zahn 2008
													2-6	12-15				28		Wolter et al. 2003	Otto & Zahn 2008
														6-20				20-34		Elliott 1981	Otto & Zahn 2008
																		27/28 (IULT)		Bjornin & Reiser 1991	Otto & Zahn 2008
																		29 (CLMax); 33 (CTMax)		Beitinger et al. 2000	Otto & Zahn 2008
				Juvenil										15,9			7 days:2 7,8; 10min 33 (ULT)	21.0	Elliott & Hurley 1997	BEEMS 2011	
												16-20 (Junglachs)					Jonsson & Jonsson 2009	BEEMS 2011			
											16.0						Mantelmann 1958	Otto & Zahn			

Relevant für	Vork. Ref TEL und/ oder Jade	Altersstadium	September (Spanne) SST °C		Februar (Spanne) SST °C		Klima des Verbr.-gebietes °C	Laichzeit	Temperatur, die die Laichwanderung indiziert °C	Laichtemperatur °C	Vorzugstemperatur °C	Optimale Wachstumstemperatur °C	Vermeidungstemperatur °C	oberer eingeschränkter Bereich °C	Letaltemperatur °C	Akklimationstemperatur °C	Quelle	zitiert aus			
			Min	Max	Min	Max															
																	aus Rosenthal & Munro 1985	2008			
																27; 28 (IULT)		Elliott 1991	Otto & Zahn 2008		
													15.9			23.0		Elliott & Hurley 1997	Otto & Zahn 2008		
													17.0					Javid & Anderson 1967b	Otto & Zahn 2008		
													10 im Winter					Morgan & Metcalfe 2001	Otto & Zahn 2008		
		Juvenil 0+														29 (CTMax)		Grande & Anderson 1991	Otto & Zahn 2008		
		Juvenil und Adult										14,2							Blair 1938 aus Rosenthal & Munro 1985	Otto & Zahn 2008	
												16.0							Elliott 1991	Otto & Zahn 2008	
		Larval															7 days:27,8, 10min 33 (ULT)	27	Elliott 1991	BEEMS 2011	
												0-12							Gunnes 1979	Otto & Zahn 2008	
																	23 (IULT)		Varley 1967	Otto & Zahn 2008	
		Eier												6					Peterson et al. 1977	BEEMS 2011	
																	16 (IULT)	?	Elliott & Elliott 2010	BEEMS 2011	
																	12 (IULT)		Gunnes 1979	Otto & Zahn 2008	
																	16 (IULT)		Elliott 1981	Otto & Zahn 2008	
		Salmo trutta (Meerforelle)	Ref TEL	Adult									12.0							Swift 1961 aus Rosenthal & Munro 1985	Otto & Zahn 2008
					1.8	24.6	Ice	17.2												http://neo.sci.gsfc.nasa.gov/Search.html?datasetId=MYD28M	BEEMS 2011
												10.0							Pentelow 1939 aus Rosenthal & Munro	Otto & Zahn 2008	

Relevant für	Vork. Ref TEL und/ oder Jade	Alters- sta- dium	September (Spanne) SST °C		Februar (Spanne) SST °C		Klima des Verbr.- gebietes °C	Laich- zeit	Tempera- tur, die die Laich- wanderung indiziert °C	Laich- tempera- tur °C	Vorzugs- tempera- tur °C	Optimale Wachs- tumstem- peratur °C	Vermei- dungs- tempera- tur °C	oberer einge- schränkter Bereich °C	Letal- tempe- ratur °C	Akklima- tisations- tempera- tur °C	Quelle	zitiert aus	
			Min	Max	Min	Max													
																		1985	
											13.0							Elliott 1976 aus Rosenthal & Munro 1985	Otto & Zahn 2008
											7-19							Frost & Brown 1967	Otto & Zahn 2008
											7-17							Mills 1971	Otto & Zahn 2008
															25 (IULT)			Charlon 1969 aus Haury et al. 1999	Otto & Zahn 2008
										2-4	12-19				23-26			Wolter et al. 2003	Otto & Zahn 2008
								Sept- Feb.										Muus & Dahlströhm 1978a	
										2-6					25-27,2	15-25		Alabaster & Lloyd 1980	Turnpenny & Liney 2006
												12,2-17,6						Jobling 1981	Turnpenny & Liney 2006
											8-17							Barton 1996	BEEMS 2011
											16.0							Larsson 2005	BEEMS 2011
													20.0					Alabaster & Downing 1966	BEEMS 2011
									10-12									Solomon 1978	BEEMS 2011
												13.0						Elliott 1975	BEEMS 2011
															23 (ULT)			Cherry et al. 1977	BEEMS 2011
															26,4 (ULT)	?		Alabaster & Downing 1966	BEEMS 2011
		Juvenil									15.5							Wingfield 1940 aus Rosenthal & Munro 1985	Otto & Zahn 2008
													17,6					Ferguson 1958 aus Rosenthal & Munro 1985	Otto & Zahn 2008
											13.1			19,5 bezogen auf Wachstum				Elliott & Hurley 1997	Otto & Zahn 2008
													25.0					Cherry et al. 1977 aus Spigarelli et al. 1983	BEEMS 2011
												16,1-17,4						Ojanguren et al.	BEEMS 2011

Relevant für	Vork. Ref TEL und/ oder Jade	Altersstadium	September (Spanne) SST °C		Februar (Spanne) SST °C		Klima des Verbr.-gebietes °C	Laichzeit	Temperatur, die die Laichwanderung indiziert °C	Laichtemperatur °C	Vorzugstemperatur °C	Optimale Wachstumstemperatur °C	Vermeidungstemperatur °C	oberer eingeschränkter Bereich °C	Letaltemperatur °C	Akklimationstemperatur °C	Quelle	zitiert aus		
			Min	Max	Min	Max														
																	2001			
															7 Tage:27,8; 10min 30 (ULT)	20.0	Elliott& Elliott 1995	BEEMS 2011		
		Eier													5,5 (ULT)		Humpesch 1985	Otto & Zahn 2008		
											14.0				14,0-16,0 (ULT)	?	Ojanguren & Brana 2003	BEEMS 2011		
Sander lucioperca (Zander)	Ref TEL	Adult						Apr-Mai, Temp. 12-15°C									Muus & Dahlströhm 1978a			
Silurus glanis (Wels)	Ref TEL	Adult						Mai-Juni Temp.≥1 8°C									Muus & Dahlströhm 1978a			
Solea solea (Seezunge)	Jade	Adult	7.5	28.1	1.7	23.6											http://neo.sci.gsfc.nasa.gov/Search.html?datasetId=MYD28M	BEEMS 2011		
												14,17 (modelliert)						Attrill & Power 2004	BEEMS 2011	
									Apr-Juni										Muus & Dahlströhm 1978b	
									10-12										Dorel et al. 1991	BEEMS 2011
		Juvenil										20-25							Fonds 1976; Irvin 1973	BEEMS 2011
		Larval										12,0-22,0							Fonds 1979	BEEMS 2011
		Eier										13,0-15,0						?	Devau-chelle et al. 1987	BEEMS 2011
															19,0-22,0 (ULT)	?	Fonds 1979	BEEMS 2011		
Sprattus sprattus (Sprotte)	Jade	Adult	8.4	24.7	3.6	19.6											http://neo.sci.gsfc.nasa.gov/Search.html?datasetId=MYD28M	BEEMS 2011		
												9,0-14,0							Wahl & Ahleit 1988	BEEMS 2011
													6,74 (modelliert)						Attrill & Power 2004	BEEMS 2011
								Jan.-Juli											Muus & Dahlströhm 1978b	
		Larval										6.8							Petereit et al. 2008	BEEMS 2011
Eier														14,7 (ULT)	?	Petereit et al. 2008	BEEMS 2011			

Relevant für	Vork. Ref TEL und/ oder Jade	Altersstadium	September (Spanne) SST °C		Februar (Spanne) SST °C		Klima des Verbr.-gebietes °C	Laichzeit	Temperatur, die die Laichwanderung indiziert °C	Laichtemperatur °C	Vorzugstemperatur °C	Optimale Wachstumstemperatur °C	Vermeidungstemperatur °C	oberer eingeschränkter Bereich °C	Letaltemperatur °C	Akklimationstemperatur °C	Quelle	zitiert aus			
			Min	Max	Min	Max															
Synnathus rostellatus (Kl. Seenadel)	Jade	Adult	13	20.4	7.4	12.6												http://neo.sci.gsfc.nasa.gov/Search.html?datasetId=MYD28M	BEEMS 2011		
								Sommer											Muus & Dahlströhm 1978b		
												14-14,2								Power & Attrill 2003	BEEMS 2011
Tinca tinca (Schleie)	Ref TEL	Adult						Mai-Juli Temp. 19-20										Muus & Dahlströhm 1978a			
Trisopterus luscus (Franzosen-dorsch)	Jade	Adult	12.4	24.7	7.4	22													http://neo.sci.gsfc.nasa.gov/Search.html?datasetId=MYD28M	BEEMS 2011	
											11.8								?	BEEMS 2012	
													11,75 (modelliert)							Attrill & Power 2004	BEEMS 2011
										Dez-Apr.?											Muus & Dahlströhm 1978b
Vimba vimba (Zährte)	Ref TEL	Adult						Mai-Juli										Muus & Dahlströhm 1978a			
Zoarces viviparus (Aalmutter)	Jade	Adult						Dez-Jan Geburt									12		Muus & Dahlströhm 1978b		
															13-15	26,6 LE; bzw.28,8 OS			Zak-hartsev et al. 2003		
																21-24	3		Van Dijk et al. 1999 zit. in Zakhartsev et al. 2003		
Zoarces viviparus Nordsee (Aalmutter)																		Zakhartsev et al. 2003			
Zoarces viviparus Ostsee (Aalmutter)															22,5 +/- 1	12		Zakhartsev et al. 2003			