

155120	155120	155120	155120	155120
155120	155120	155120	155120	155120
155120	155120	155120	155120	155120
155121	155121	155121	155121	155121
155121	155121	155121	155121	155121
155121	155121	155121	155121	155121
155121	155121	155121	155121	155121
155122	155122	155122	155122	155122
155122	155122	155122	155122	155122
155122	155122	155122	155122	155122



3.5.3 Temperaturschichtung und Wärmeinhalt 2014 & 2015

<•> H. Klein , A. Frohse & A. Schulz • • • • •

In diesem Abschnitt wird die saisonale Temperaturschichtung anhand der Daten der Nordsee-Gesamtaufnahmen und des Jahresganges der Temperatur an der MARNET-Station *Deutsche Bucht* dargestellt. Ferner wird der Gesamt-Wärmeinhalt der Nordsee zur Zeit des Temperaturmaximums der Nordsee diskutiert.

Weite Gebiete der Nordsee mit Wassertiefen größer als etwa 30 m sind im Sommerhalbjahr thermisch geschichtet. Diese saisonale vertikale Temperaturschichtung bildet sich in jenen Seegebieten aus, in denen sich die am Meeresboden erzeugte Gezeitenstromturbulenz nicht bis in die winddurchmischte Oberflächenschicht auswirkt. In der als Thermokline bezeichneten Temperatursprungschicht zwischen warmer Deckschicht und kälterer Bodenschicht können bei voll entwickelter Schichtung regional Temperaturgradienten von mehr als drei Kelvin pro Meter gemessen werden. Da sich mit der Temperatur auch die Dichte ändert, stellt die Thermokline eine Dichte-Barriere dar, die den vertikale Stoff- und Gasaustausch deutlich behindert. In den flacheren Gebieten, wo sich die Gezeitenstrom- und windinduzierten Turbulenzzonen überlappen, tritt allenfalls kurzzeitig ein thermischer Gradient in Oberflächennähe auf, der entweder durch den Seegang, durch nächtliche Abkühlung und Konvektion schnell wieder abgebaut wird. Vertikale Temperaturgradienten können zusätzlich durch starke vertikale Salzgehaltsgradienten, wie sie in Flussmündungen oder im Bereich des baltischen Ausstroms auftreten, forciert werden. Abhängig vom Wechselspiel zwischen thermischem Energieeintrag (Solarstrahlung, fühlbarer Wärmestrom) und kinetischer Energiezufuhr (Windsee, Dünung) können sich eine oder auch mehrere thermische Sprungschichten ausbilden, deren Tiefen von Jahr zu Jahr variieren.

Die beiden folgenden Unterkapitel über Temperaturschichtung und Gesamt-Wärmeinhalt im Sommer beruhen auf den Daten der jährlichen BSH Nordsee-Sommernaufnahmen, die seit 1998 möglichst zur Zeit des Temperaturmaximums durchgeführt werden. Für diese Daten wurde eine 10-jährige Referenzperiode (RP) über den Zeitraum 2000-2010, aber ohne 2002, definiert. In 2002 wurde die Aufnahme deutlich zu früh und weit vor dem Erreichen des Temperaturmaximums der Nordsee durchgeführt.

3.5.3.1 Temperaturschichtung in den Sommern 2014 und 2015

2014:

Die großräumige oberflächennahe Temperaturverteilung (Abb. 1) zeigte in 2014 deutliche Abweichungen von der Referenzperiode (RP, s.o.). Insbesondere der südöstliche Teil der Nordsee war deutlich wärmer mit Anomalien bis zu 3 K, während das Gebiet nördlich von 58° N deutlich kälter war mit Anomalien von -3 K an der Südspitze von Norwegen. Die bodennahe Schicht unterhalb der Thermokline zeigte eine deutlich unterschiedliche Verteilung mit negativen Anomalien im Bereich der Shetland Inseln und im östlichen Teil der Nordsee. In beiden Bereichen überschritten die Anomalien -3 K. Positive Anomalien bis zu 2 K fanden wurden entlang der dänischen, deutschen und niederländischen Küste beobachtet.

Tabelle 1 zeigt die Extremwerte der vertikalen Temperaturgradienten >0.5 K/m und die Tiefe des maximalen Gradienten, d.h. der Thermokline, für die zonalen Schnitte in 2014 und 2015. Die Daten basieren auf den ScanFish-Profilen der Sommeraufnahme mit maximalen Gradienten von 2 K/m. Die CTD-Profile auf dem 54° N-Schnitt zeigen lokale vertikale Gradienten von bis zu 3 K/m. Die Tiefe der Thermokline variiert zwischen 13 und 31 m. Der Unterschied zwischen Oberflächen- und Bodentemperatur überschreitet in der zentralen Nordsee 10 K (Abb. 5). Die zonalen Vertikalschnitte der Temperaturverteilung sind in Abb. 3 als Composites von CTD-Profilen und ScanFish-Messungen dargestellt. Sie zeigen eine Abschwächung des Thermokline von Süd nach Nord und einen deutlichen Rückgang der SST nach dem Durchzug des Ex-Hurrikans „Bertha“ (vergleiche den 57 und 58° N-Schnitt).

2015:

Auch in 2015 kam es zu signifikanten Abweichungen der Temperaturverteilung von der RP: Die Temperaturen in der südlichen Teil der Nordsee lagen geringfügig über der Klimatologie, während die Gebiete nördlich 55° N deutlich kühler waren mit Anomalien von bis zu -2 K westlich von Utsira (Abb. 2). Anders in der Bodenschicht: Hier wiesen weite Gebiete der Nordsee positive Anomalien auf mit einem Maximum von +3 K über der Doggerbank. Kleinere Gebiete mit negativen Anomalien von bis zu -1 K traten westlich der Doggerbank, im Skagerrak, entlang der nordfriesischen und jütländischen Küste und im Bereich der Shetland Inseln auf.

Der maximale vertikale Temperaturgradient in der Thermokline betrug 2015 nur 1.5 K/m, der 54° N-Schnitt war weitgehend vertikal homogen durchmischt mit Gradienten <0.5 K/m. Die Tiefe der Thermokline variierte zwischen 16 und 55 m (Abb. 4a-c) mit der typischen Abschwächung der Gradientenstärke von Süd nach Nord. Die Differenz zwischen Oberflächen- und Bodentemperatur überstieg 8 K in einem im Vergleich zu den Vorjahren nur sehr kleinem Gebiet nördlich der Doggerbank (Abb. 5).

section	vertical gradient (>0.5 K/m)		depth of thermocline [m]	
	min	max	min	max
2014				
60° N	0.5	1.2	23	31
59° N	0.5	0.9	27	23
58° N	0.5	1.8	35	24
57° N	0.6	1.5	22	32
56° N	0.5	2.0	13	27
55° N	0.5	1.7	16	24
54° N	-	-	-	-
mean±std	0.5±0.0	1.5±0.4	22.6±7.2	26.8±3.5
2015				
60° N	0.7	1.0	16	33
59° N	0.7	1.0	33	55
58° N	0.5	1.0	22	39
57° N	0.6	1.2	29	38
56° N	0.7	1.5	24	34
55° N	0.6	1.5	25	31
54° N	-	-	-	-
mean±std	0.6±0.1	1.2±0.2	24.8±5.8	38.3±8.7

Tabelle 1: Extremwerte des vertikalen Temperaturgradienten und Tiefe der Thermokline (Tiefe des maximalen Gradienten) in 2014 (oben) und 2015 (unten). Unterste Zeile: Mittelwert und Standardabweichung über alle Schnitte.

Table 1: Extreme values of vertical temperature gradients and thermocline depths (depths of maximum gradients) along the zonal sections in 2014 (top) and 2015 (bottom). Last line: Mean and standard deviation over all sections.

2014

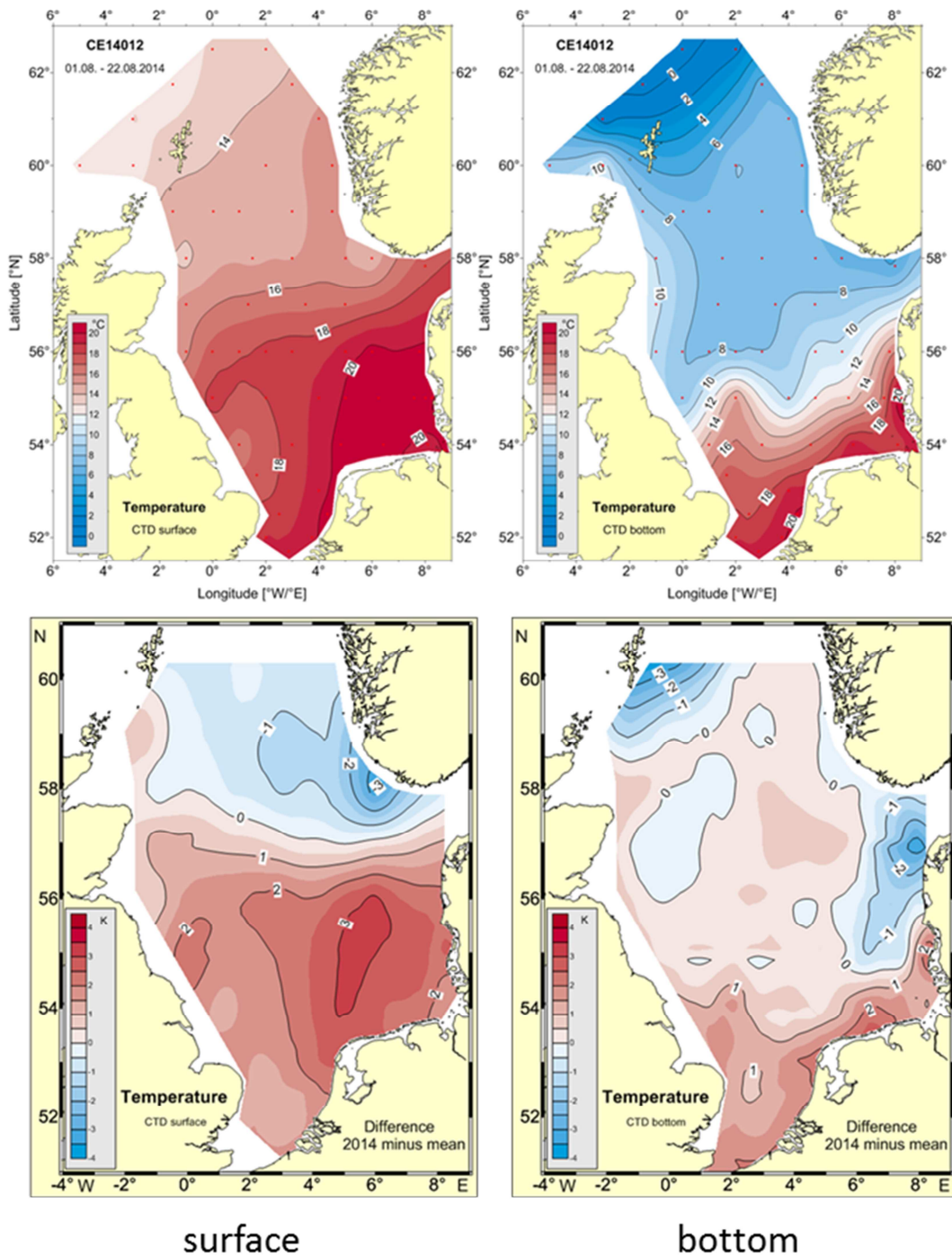


Abb. 1: Oben: Temperaturverteilung in der Oberflächen- und Bodenschicht in °C im Sommer 2014. Unten: Temperaturanomalie (2014 – RP) in K in der Oberflächen- und Bodenschicht. CTD-Daten FS Celtic Explorer 14012a.

Fig. 1: Top: Horizontal surface and bottom temperature distribution in °C summer 2014. Bottom: Surface and bottom temperature anomalies (2014 – RP) in K. CTD data RV Celtic Explorer 14012a.

2015

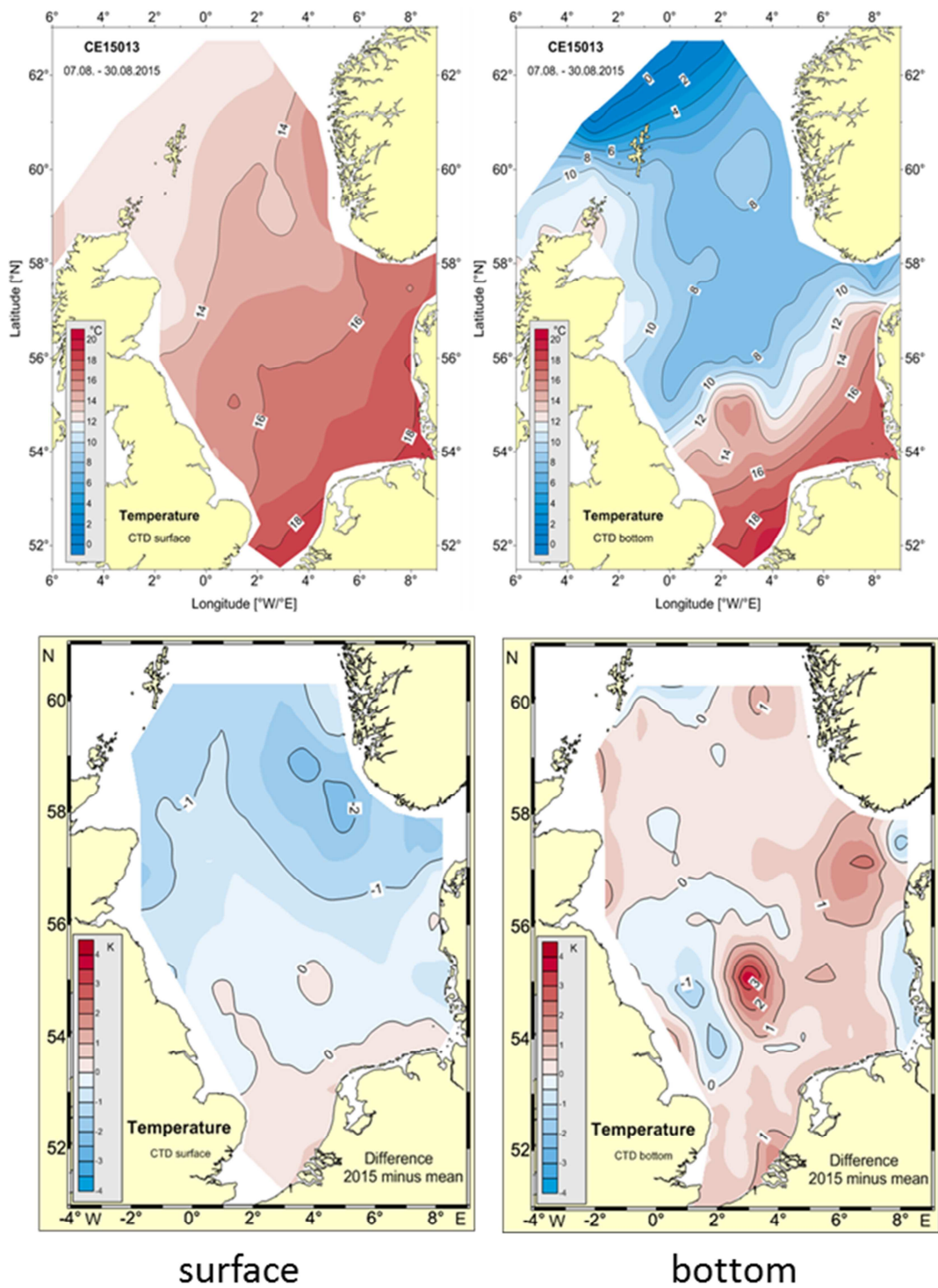


Abb. 2: Oben: Temperaturverteilung in der Oberflächen- und Bodenschicht in °C im Sommer 2015. Unten: Temperaturanomalie (2015 – RP) in K in der Oberflächen- und Bodenschicht. CTD-Daten FS Celtic Explorer 15013a.

Fig. 2: Top: Horizontal surface and bottom temperature distribution in °C summer 2015. Bottom: Surface and bottom temperature anomalies (2015 – RP) in K. CTD data RV Celtic Explorer 15013a.

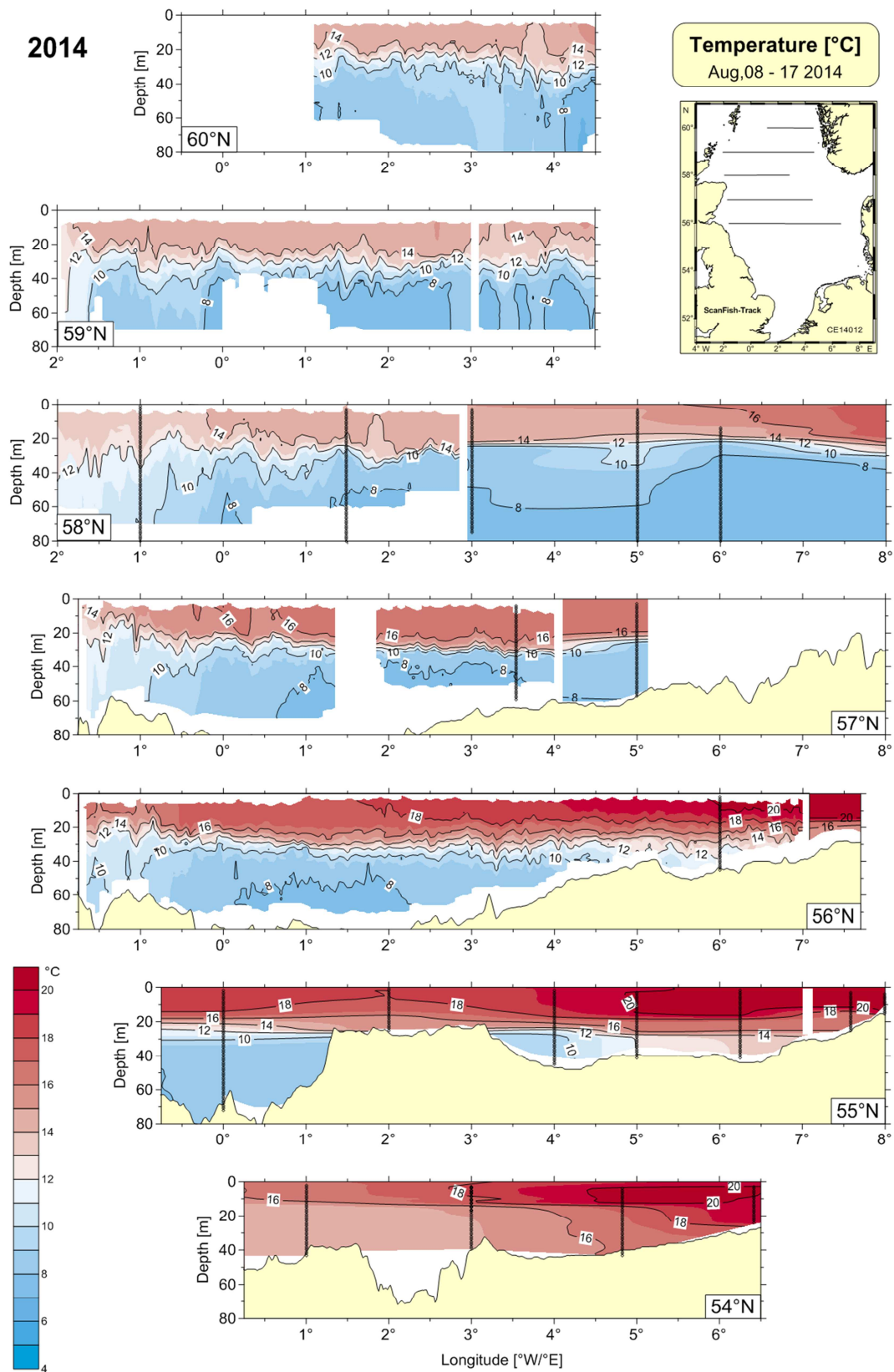


Abb. 3: Vertikale Temperaturverteilung (°C) im Sommer 2014. ScanFish- und CTD-Daten, FS Celtic Explorer 14012a.

Fig. 3: Vertical temperature distribution (°C) summer 2014. ScanFish and CTD data, RV Celtic Explorer 14012a.

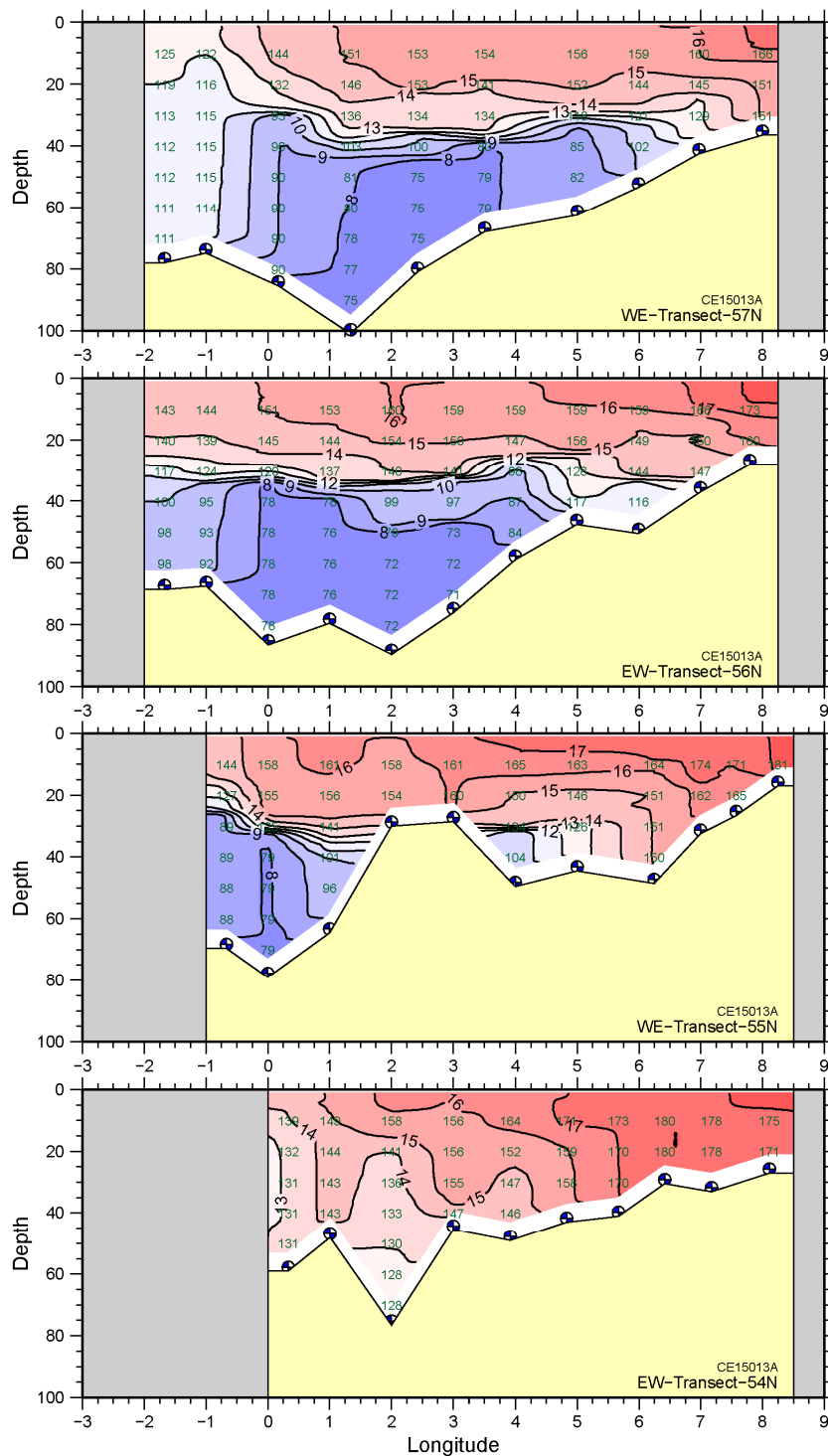


Abb. 4a: Vertikale Temperaturverteilung (°C) entlang des 54°, 55°, 56° und 57°N Schnittes im Sommer 2015. CTD-Daten, FS Celtic Explorer 15013a. Die Zahlen zeigen die Temperatur $\times 10$ für ausgewählte Datenpunkte.

Fig. 4a: Vertical temperature distribution (°C) along the 54°, 55°, 56°, and 57°N sections, summer 2015. CTD data, RV Celtic Explorer 15013a. The numbers in the section give temperatures $\times 10$ for selected data points.

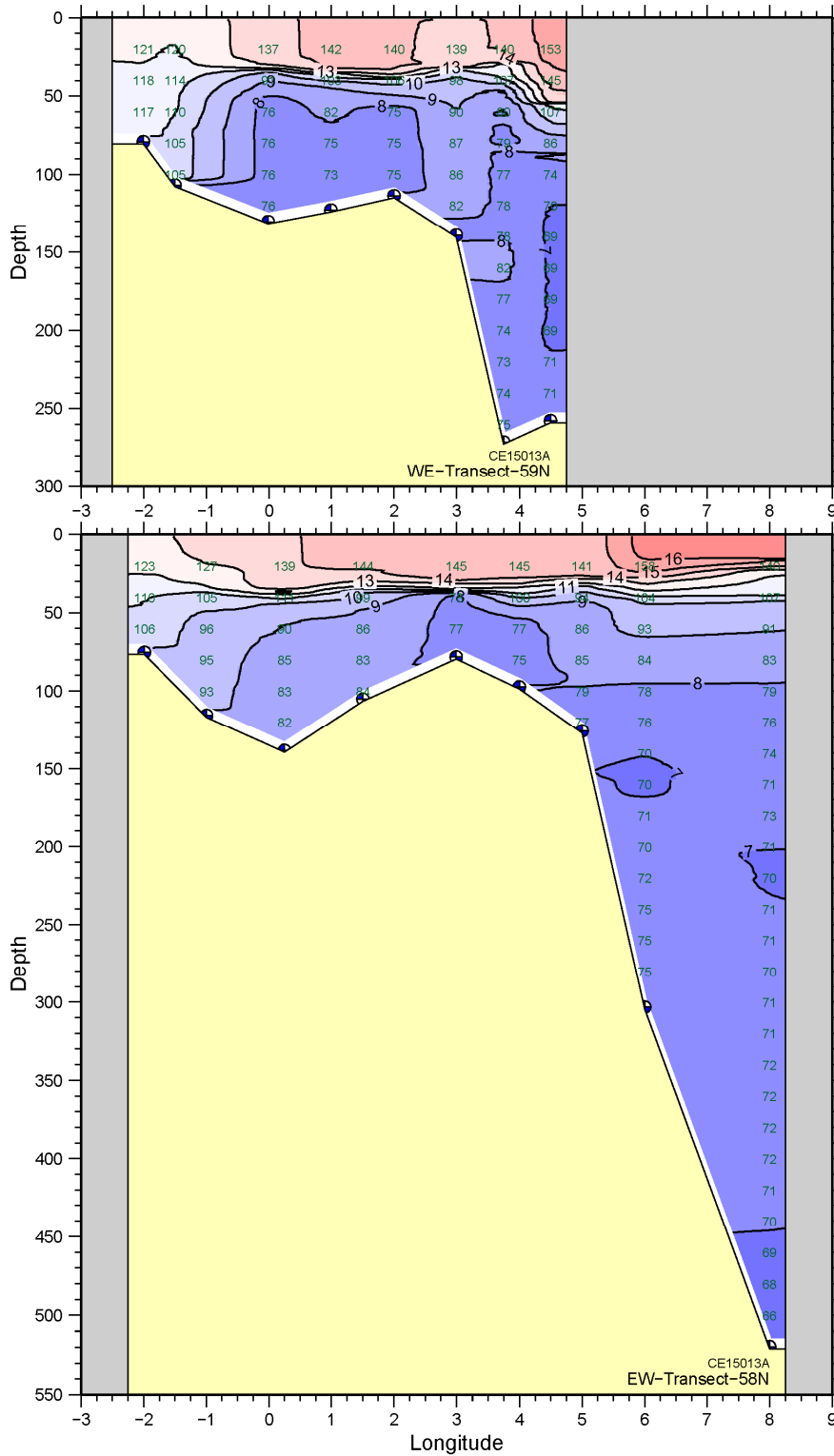


Abb. 4b: Vertikale Temperaturverteilung (°C) entlang des 58° und 59°N Schnittes im Sommer 2015. CTD-Daten, FS Celtic Explorer 15013a. Die Zahlen zeigen die Temperatur $\times 10$ für ausgewählte Datenpunkte.

Fig. 4b: Vertical temperature distribution (°C) along the 58° and 59°N sections, summer 2015. CTD data, RV Celtic Explorer 15013a. The numbers in the section give temperatures $\times 10$ for selected data points.

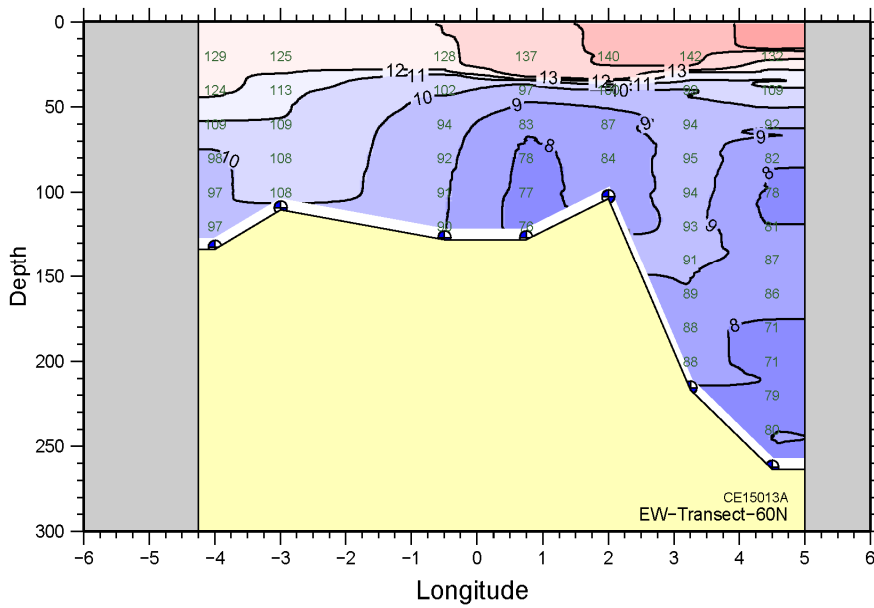


Abb. 4c: Vertikale Temperaturverteilung (°C) entlang des 60°N Schnittes im Sommer 2015. CTD-Daten, FS Celtic Explorer 15013a. Die Zahlen zeigen die Temperatur × 10 für ausgewählte Datenpunkte.

Fig. 4b: Vertical temperature distribution (°C) along the 60°N sections, summer 2015. CTD data, RV Celtic Explorer 15013a. The numbers in the section give temperatures × 10 for selected data points.

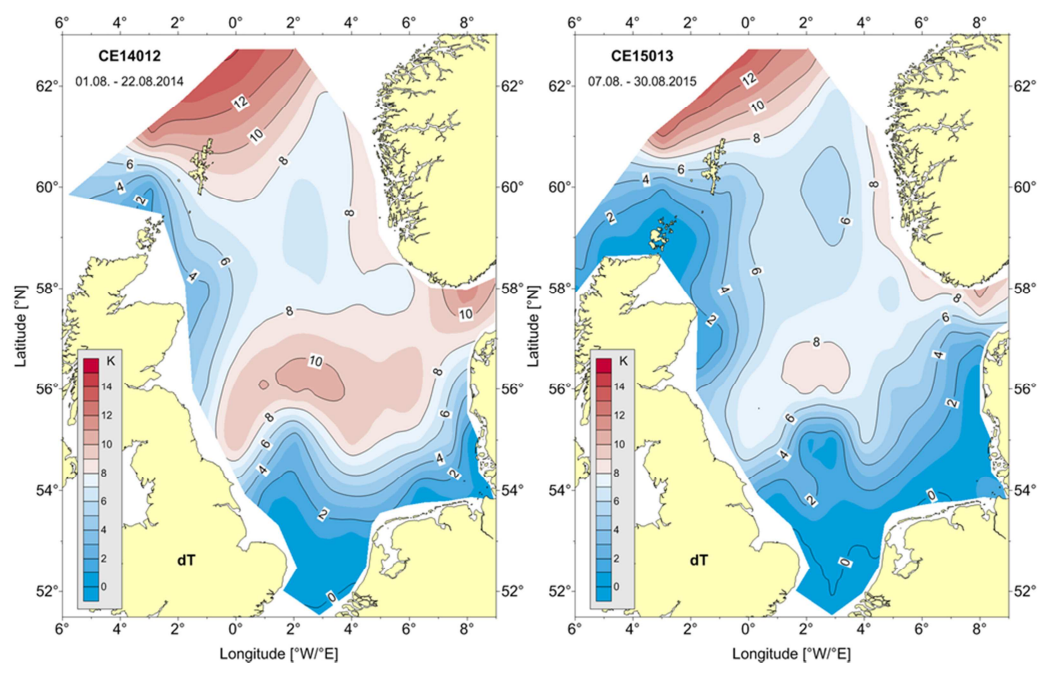


Abb. 5: Differenz Oberflächen- minus Bodentemperatur in K für 2014 (links) und 2015 (rechts).

Fig. 5: Difference surface minus bottom temperature in K for 2014 (left) and 2015 (right).

3.5.3.2 Gesamt-Wärmeinhalt der Nordsee in den Sommern 2014 und 2015

Die Tabelle 2 und Abb. 6 zeigen den Gesamt-Wärmeinhalt (THC, Total Heat Content) der Nordsee für die Jahre 1999-2015, die Tabelle zeigt zusätzlich die bzgl. der RP normierte Anomalie. Dabei ist zu beachten, dass einige Reisen vor dem Erreichen des Wärmemaximums durchgeführt wurden, insbesondere die Jahre 1999 und 2002.

Gegenüber 2013 stieg der THC in 2014 auf 1.740×10^{21} J an und überstieg den Mittelwert der RP von 1.631×10^{21} J um 1.3 Standardabweichungen. In 2015 lag der THC mit 1.663×10^{21} J geringfügig über dem Mittelwert der RP.

date of cruise	mid-term of survey	THC [$\times 10^{21}$ J]	ΔH [std dev]	VT [°C]	SST [°C]
02.07.1999 - 22.07.1999	09.07.1999	1.427	-2.38	9.4	15.2
09.08.2000 - 23.08.2000	06.08.2000	1.603	-0.33	10.5	15.3
11.07.2001 - 02.08.2001	27.07.2001	1.438	-2.25	9.4	15.2
16.07.2002 - 31.07.2002	25.07.2002	1.587	-0.52	10.4	15.4
28.07.2003 - 13.08.2003	04.08.2003	1.707	0.88	11.2	17.8
05.08.2004 - 20.08.2004	12.08.2004	1.692	0.71	11.1	17.1
10.08.2005 - 29.08.2005	20.08.2005	1.624	0.08	10.7	14.9
02.08.2006 - 20.08.2006	11.08.2006	1.619	-0.14	10.6	17.0
03.08.2007 - 17.08.2007	10.08.2007	1.659	0.32	10.9	15.3
21.07.2008 - 05.08.2008	29.07.2008	1.583	-0.56	10.4	16.1
20.08.2009 - 09.09.2009	29.08.2009	1.755	1.44	11.5	15.7
04.08.2010 - 24.08.2010	13.08.2010	1.632	0.01	10.7	16.0
08.08.2011 - 28.08.2011	17.08.2011	1.669	0.44	11.0	15.3
07.08.2012 - 26.08.2012	16.08.2012	1.695	0.47	11.1	16.0
10.08.2013 - 31.08.2013	21.08.2013	1.627	-0.05	10.7	15.9
02.08.2014 - 21.08.2014	12.08.2014	1.740	1.27	11.4	16.7
08.08.2015 - 26.08.2015	18.08.2015	1.663	0.37	10.9	15.5
10 year average 2000-2010 (without 2002) ± standard deviation		1.631±0.086	-	10.70±0.57	15.98±0.99

Tabelle 2: Gesamt-Wärmeinhalt (THC) und mittlere Volumentemperatur (VT) der Nordsee basierend auf den Daten der Sommeraufnahmen, sowie Nordsee SST gemittelt über die Dauer der Messreisen. ΔH = Normierte Anomalie (Differenz zur Referenzperiode in Standardabweichungen). Der Gesamt-Wärmeinhalt wurde im Januar 2013 unter Einbeziehung zusätzlicher CDT-Stationen in Gebieten ohne ScanFish Daten neu berechnet. Die Werte in dieser Tabelle können deshalb geringfügig von vorangehenden Publikationen abweichen.

Table 2: Total heat content (THC) and mean volume temperature (VT) of the North Sea, data from summer cruises and North Sea SST averaged over cruise duration. ΔH = normalised anomaly (difference to reference period in standard deviations). The total heat content was re-calculated in January 2013 including additional CTD data for areas where no ScanFish data were available due to technical problems. Therefore, the values in this Table differ slightly from previous reports.

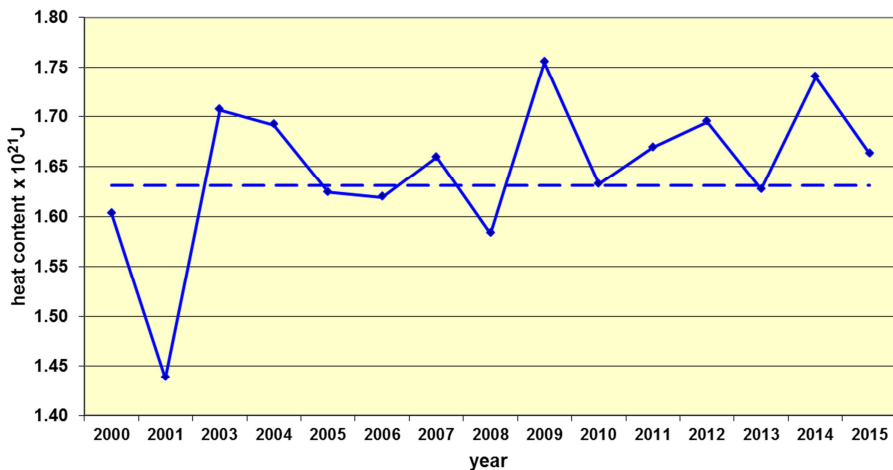


Abb. 6: Gesamt Wärmehalt der Nordsee im Sommer in 10^{21} J von 1999 bis 2015 (ohne 2002). Gestrichelte Linie: Mittelwert der Referenzperiode 2000-2010 ($1.631 \pm 0.086 \times 10^{21}$ J) basierend auf den Daten der Sommeraufnahmen.

Fig. 6: Total heat content in 10^{21} J from 1999 to 2015 (without 2002). Broken line: mean of reference period 2000-2010 ($1.631 \pm 0.086 \times 10^{21}$ J) based on summer cruise data.

3.5.3.3 Der Jahrgang der Temperatur am Feuerschiff Deutsche Bucht

Die Temperaturbedingungen in der Deutschen Bucht werden exemplarisch anhand der Aufzeichnungen an der MARNET-Station auf dem unbemannten Feuerschiff Deutsche Bucht (UFS DB, 54° 10' N; 7° 27' E, Wassertiefe 38 m) in 3 – 30 m Messtiefe dokumentiert. Lücken in den Aufzeichnungen entstehen u.a. durch technische Probleme, Bewuchs der Sensoren (Biofouling) oder Instandhaltungsarbeiten (Wertzeiten). Die horizontalen durchbrochenen Linien markieren das klimatologische saisonale Mini- und Maximum der Oberflächentemperatur, basierend auf der Klimatologie von Janssen et al. (1999) mit einer Differenz von etwa 13.5 K. Generell baut sich die thermische Schichtung zwischen Ende März und Anfang April auf und dauert bis Ende August oder Anfang September wenn die Schichtung durch die Herbst- und Winterstürme bis zum nächsten Frühjahr aufgebrochen wird.

2014:

In 2014 war die Deutsche Bucht von Mitte April bis zur zweiten Augustwoche geschichtet. Die gut ausgebildete Schichtung wurde schlagartig durch den Ex-Hurrikan „Bertha“ beendet, der vom 10. bis 12. August die Nordsee als schweres Sturmtief in einem weiten Bogen vom Englischen Kanal kommend nordwärts bis zum nördlichen Rand durchquerte.

2015:

In 2015 bildete sich eine erste Schichtung von Mitte April bis Anfang Mai aus. Im Mai und Juni kam es zu einer deutlichen Abkühlung der Oberflächentemperatur, die zu einem Zusammenbruch der Schichtung führte. Von Anfang Juni an war die Wassersäule dann mit kurzen Unterbrechungen durchgehend geschichtet. Die Zeitserie bricht in der ersten Juliwoche ab, da das Feuerschiff für Wartungsarbeiten eingezogen wurde. Alle anderen

Messnetzstationen in der Deutschen Bucht¹ zeigen einheitlich ein Ende der Schichtung in der letzten Augustwoche infolge der ersten schweren Herbststürme.

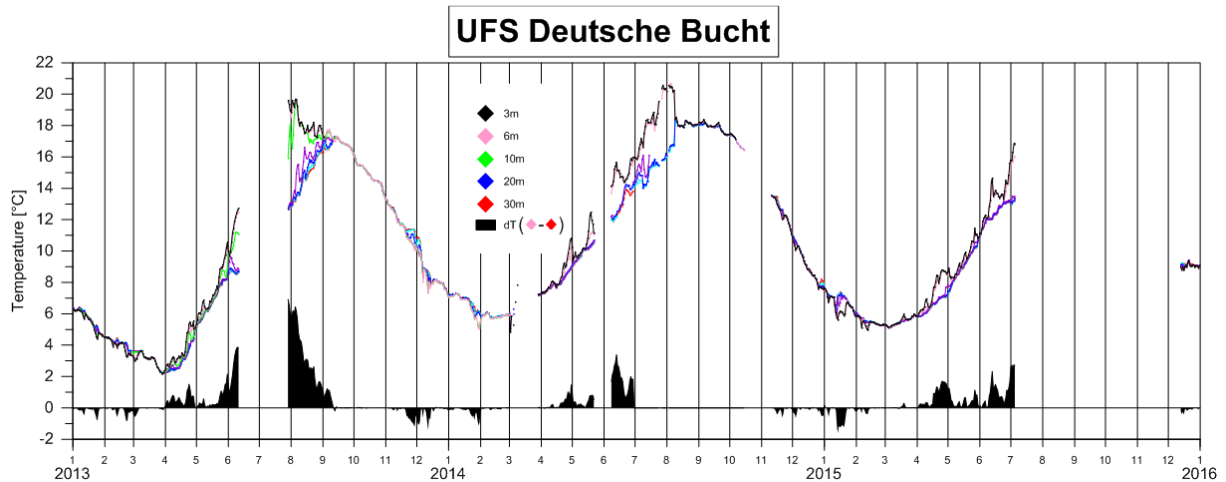


Abb. 7 Temperaturverlauf am an der MARNET-Station Deutsche Bucht in 3, 6, 10, 20 und 30 m Tiefe. In unteren Bereich ist die Temperaturdifferenz ΔT Oberfläche minus Boden dargestellt. Die gestrichelten Linien markieren die Lage des saisonalen klimatologischen Mini- und Maximums in der Oberflächenschicht nach Janssen et al., 1999.

Fig. 7: Temperature time series at MARNET station German Bight in 3, 6, 10, 20 and 30 m depth. The lower part of the diagram shows the temperature difference ΔT surface minus bottom. The broken lines give the climatological seasonal mini- and maximum for the surface layer according to Janssen et al., 1999.

Literatur

Janssen F., C. Schrum and J.O. Backhaus, 1999: A Climatological Data Set of Temperature and Salinity for the Baltic Sea and the North Sea, *German Journal of Hydrography*, Supplement 9, 245pp.

Weitere Informationen zu diesem Thema finden Sie unter:

http://www.bsh.de/de/Meeresdaten/Beobachtungen/Meerestemperaturen_und_Waermeinhalte/index.jsp

Wenn Sie noch Fragen oder Datenanforderungen haben, wenden Sie sich bitte an Holger Klein, Telefon 040 3190 – 3220; holger.klein@bsh.de

Stand: 05.09.2016, Datei: T-Schichtung&Waerme-2014&2015.docx

¹ <http://www.bsh.de/de/Meeresdaten/Beobachtungen/MARNET-Messnetz/index.jsp>