

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 2016 & 2017

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

In diesem Abschnitt werden die saisonale Temperaturschichtung anhand der Daten der Nordsee-Gesamtaufnahmen und die Jahrgänge 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 aber durch Prozesse wie Seegang, nächtliche Abkühlung und Konvektion schnell wieder abgebaut wird. Vertikale Temperaturgradienten können zusätzlich durch starke vertikale Salzgehaltgradienten forciert werden, die z.B. in Flussmündungen oder im Bereich des Baltischen Ausstroms auftreten. 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 der Nordsee 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 Saisonale Temperaturschichtung in den Sommern 2016 und 2017

Die beiden folgenden Abschnitte basieren auf den CTD-Daten der BSH Nordsee-Sommeraufnahmen (BSH North Sea Summer Survey) mit dem irischen Forschungsschiff *Celtic Explorer*, Reise CE16011a in 2016 und CE17013a in 2017.

Im Sommer 2016 lagen die Oberflächentemperaturen der südlichen Nordsee 0.5 bis 1.0 K über dem langfristigen Mittel, an den Küsten traten lokal Anomalien von bis zu +1.5 K auf. Nördlich von 54°N lagen die Temperaturen weitflächig um bis zu 1.5 K unter dem Mittel der Referenzperiode, südwestlich von Norwegen im Gebiet der Eigersund- und Großen Fischerbank betrug die Anomalie mehr als -2 K. Die Bodentemperaturen lagen in weiten Gebieten über den mittleren Verhältnissen mit lokalen Anomalien von über +3 K über der Doggerbank, über dem Jyske Rev und westlich von Jütland. Negative Anomalien von bis zu -1 K traten westlich der Doggerbank und in Teilen der nördlichen Nordsee auf.

Der maximale vertikale Temperaturgradient in der Thermokline war mit 3 K/m doppelt so stark wie im Vorjahr, der 54°N-Schnitt war weitgehend vertikal homogen durchmischt mit Gradienten  $<0.5$  K/m. Die Tiefe der Thermokline variierte zwischen 22 und 48 m (Tabelle 1 und Abb. 2a-c) mit der typischen Abschwächung des maximalen vertikalen Gradienten von Süd nach Nord. Die Differenz zwischen Oberflächen- und Bodentemperatur war insbesondere in der zentralen Nordsee deutlich geringer als in den Vorjahren und überstieg 8 K nur noch in einem kleinen Bereich über der Norwegische Rinne (Abb. 3).

In der südlichen Nordsee lagen die Oberflächentemperaturen im Sommer 2017 um 0.5 bis 1.0 K über der Referenzperiode. Im äußeren Bereich des Firth of Forth und über der Norwegischen Rinne hingegen lagen die Oberflächentemperaturen bis zu -1 K unter der Referenzperiode. Die Bodentemperaturen lagen wie im Vorjahr in weiten Bereichen deutlich über der Referenzperiode mit Anomalien von über 4 K über der Doggerbank und bis zu 3 K über dem Jyske Rev und westlich von Jütland (Abb. 1b).

Auch der maximale vertikale Temperaturgradient in der Thermokline entsprach mit 2.9 K/m fast dem des Vorjahres und wie in den Vorjahren war der 54°N-Schnitt weitgehend vertikal homogen durchmischt. Die Tiefe der Thermokline variierte zwischen 17 m auf dem 55°N-Schnitt und 99 m über der Norwegischen Rinne auf dem 58°N-Schnitt (Tabelle 1 und Abb. 4a-c) mit der typischen Abschwächung des maximalen vertikalen Gradienten von Süd nach Nord. Die Differenz zwischen Oberflächen- und Bodentemperatur überstieg 8 K über der Norwegischen Rinne und in einem schmalen Streifen nördlich der Doggerbank (Abb. 5).

section	vertical gradient (>0.5 K/m)		depth of thermocline [m]	
	min	max	min	max
<b>2016</b>				
60° N	<b>0.5</b>	1.6	27	27
59° N	<b>0.5</b>	1.3	28	43
58° N	<b>0.5</b>	0.8	29	<b>48</b>
57° N	0.9	2.4	27	39
56° N	0.7	<b>3.0</b>	30	35
55° N	0.8	2.3	<b>22</b>	29
54° N	-	-	-	-
mean±std	0.6±0.2	1.9±0.8	27.2±2.8	36.8±8.1
<b>2017</b>				
60° N	<b>0.5</b>	0.7	19	65
59° N	<b>0.5</b>	1.2	30	34
58° N	<b>0.5</b>	2.8	22	<b>99</b>
57° N	<b>0.5</b>	<b>2.9</b>	15	38
56° N	1.1	2.1	24	33
55° N	<b>0.5</b>	2.7	<b>17</b>	28
54° N	-	-	-	-
mean±std	0.6±0.2	2.1±0.9	21.2±5.4	49.5±27.6

*Tabelle 1: Extremwerte des vertikalen Temperaturgradienten und Tiefe der Thermokline (Tiefe des maximalen Gradienten). 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. Bottom line: Mean and standard deviation over all sections.*

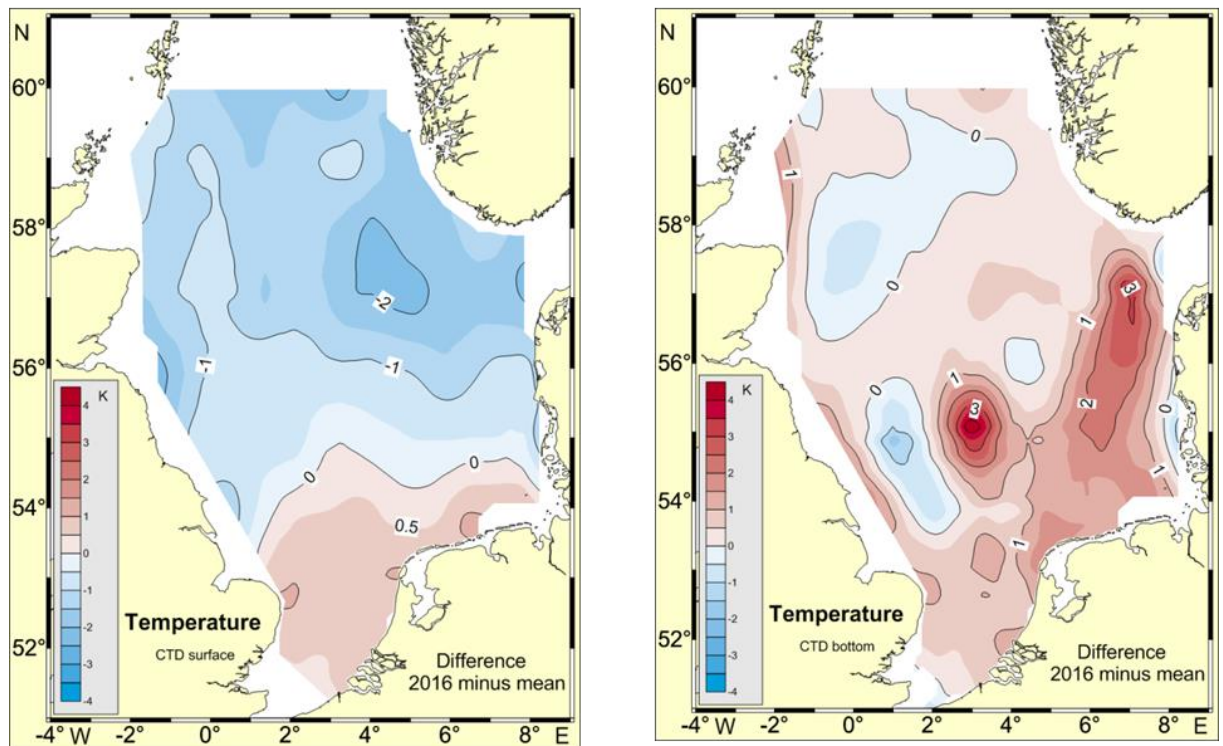
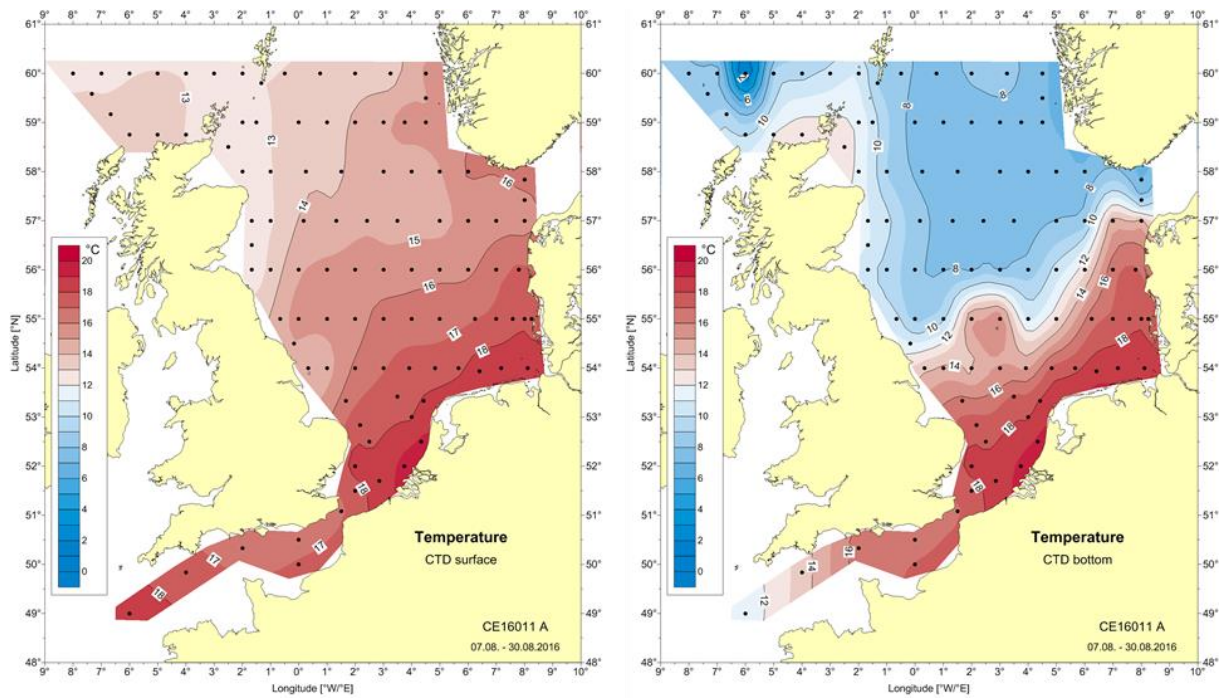


Abb. 1a, oben: Temperaturverteilung in der Oberflächen- und Bodenschicht in °C im Sommer 2016. Unten: Anomalien bzgl. der Referenzperiode 2000-2010 in K in der Oberflächen- und Bodenschicht.

Fig. 1a, top: Horizontal surface and bottom temperature distribution in °C summer 2016. Bottom: Surface and bottom anomalies w.r.t. the reference period 2000-2010 in K.

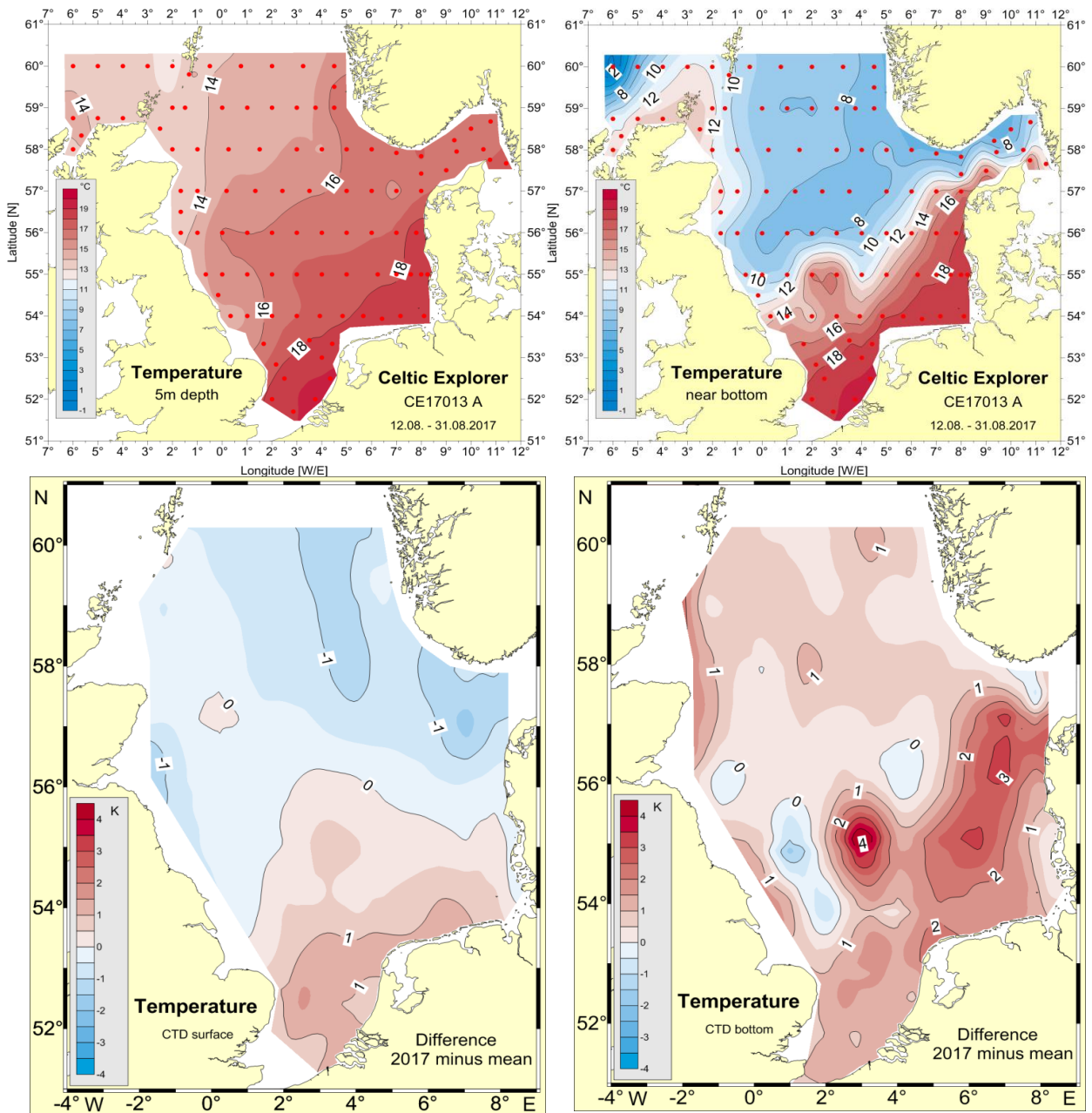


Abb. 1b, oben: Temperaturverteilung in der Oberflächen- und Bodenschicht in °C im Sommer 2017. Unten: Anomalien bzgl. der Referenzperiode 2000-2010 in K in der Oberflächen- und Bodenschicht.

Fig. 1b, top: Horizontal surface and bottom temperature distribution in °C summer 2017. Bottom: Surface and bottom anomalies w.r.t. the reference period 2000-2010 in K.

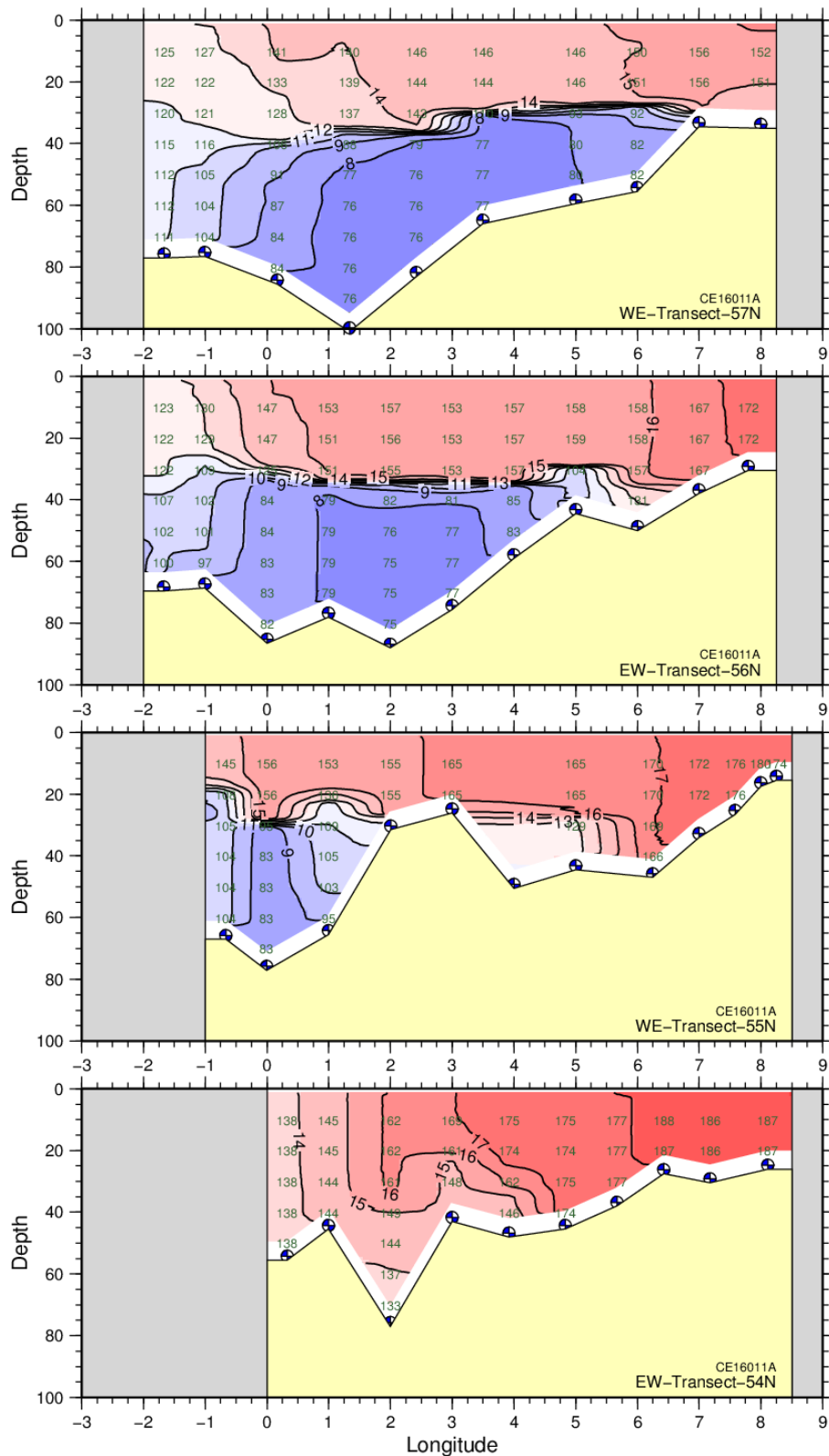


Abb. 2a: Vertikale Temperaturverteilung (°C) entlang des 54°, 55°, 56° und 57°N Schnittes im Sommer 2016. Die Zahlen zeigen die Temperatur × 10 für ausgewählte Datenpunkte.

Fig. 2a: Vertical temperature distribution (°C) along the 54°, 55°, 56°, and 57°N sections, summer 2016. The numbers in the section give temperatures × 10 for selected data points.

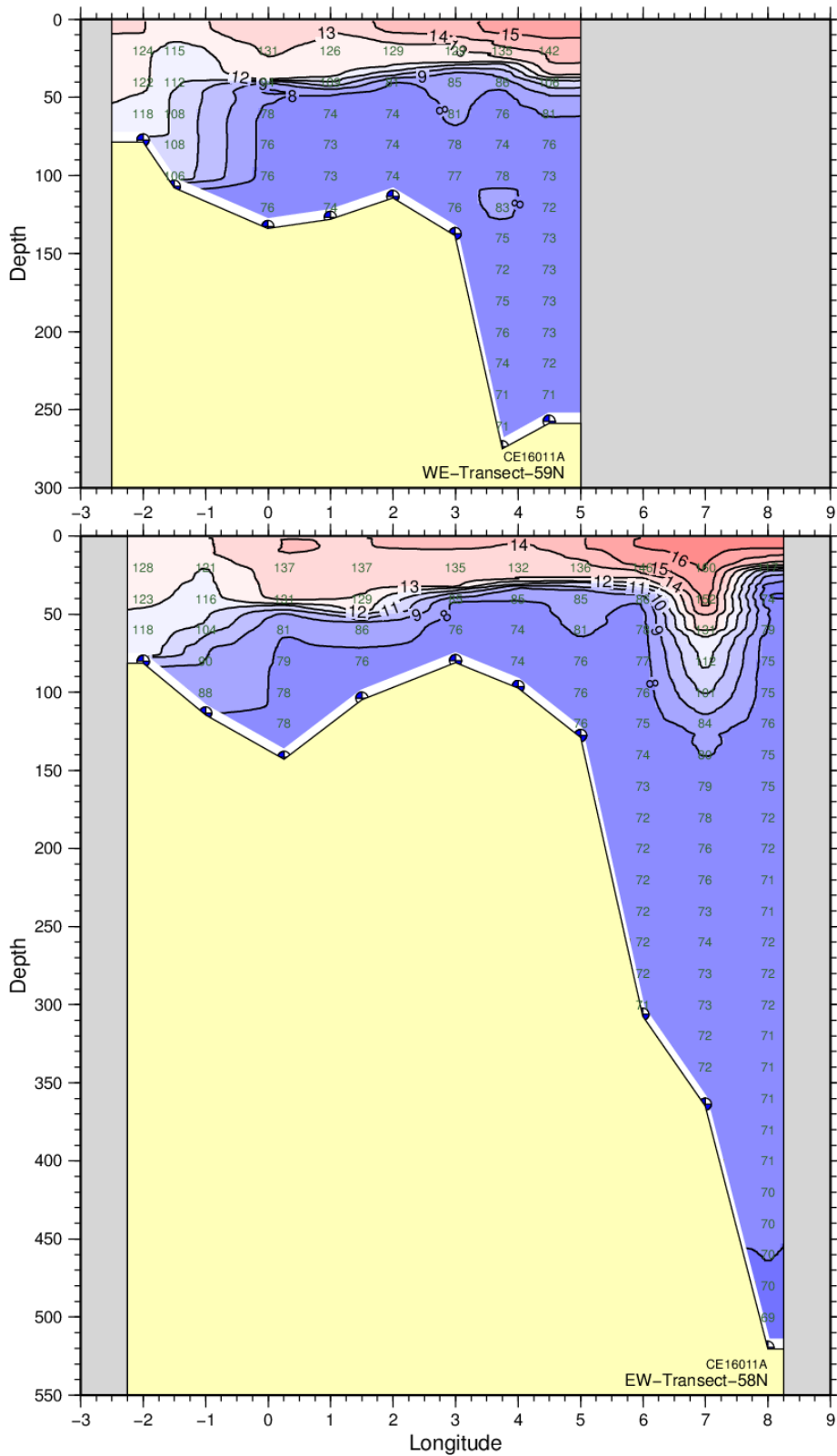


Abb. 2b: Vertikale Temperaturverteilung ( $^{\circ}\text{C}$ ) entlang des  $58^{\circ}$  und  $59^{\circ}\text{N}$  Schnittes im Sommer 2016. Die Zahlen zeigen die Temperatur  $\times 10$  für ausgewählte Datenpunkte.

Fig. 2b: Vertical temperature distribution ( $^{\circ}\text{C}$ ) along the  $58^{\circ}$  and  $59^{\circ}\text{N}$  sections, summer 2016. The numbers in the section give temperatures  $\times 10$  for selected data points.

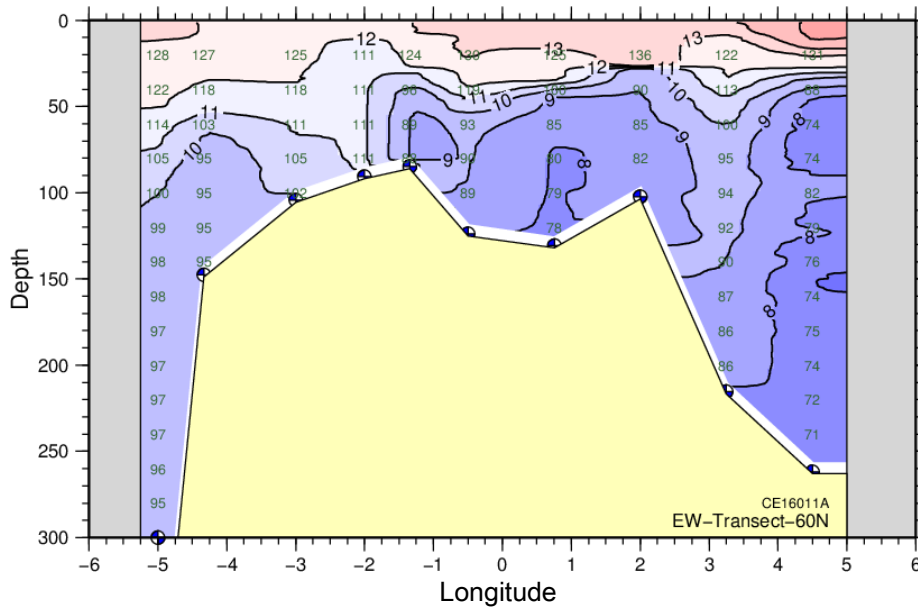


Abb. 2c: Vertikale Temperaturverteilung ( $^{\circ}\text{C}$ ) entlang des  $60^{\circ}\text{N}$  Schnittes im Sommer 2016. Die Zahlen zeigen die Temperatur  $\times 10$  für ausgewählte Datenpunkte.

Fig. 2c: Vertical temperature distribution ( $^{\circ}\text{C}$ ) along the  $60^{\circ}\text{N}$  sections, summer 2016. The numbers in the section give temperatures  $\times 10$  for selected data points.

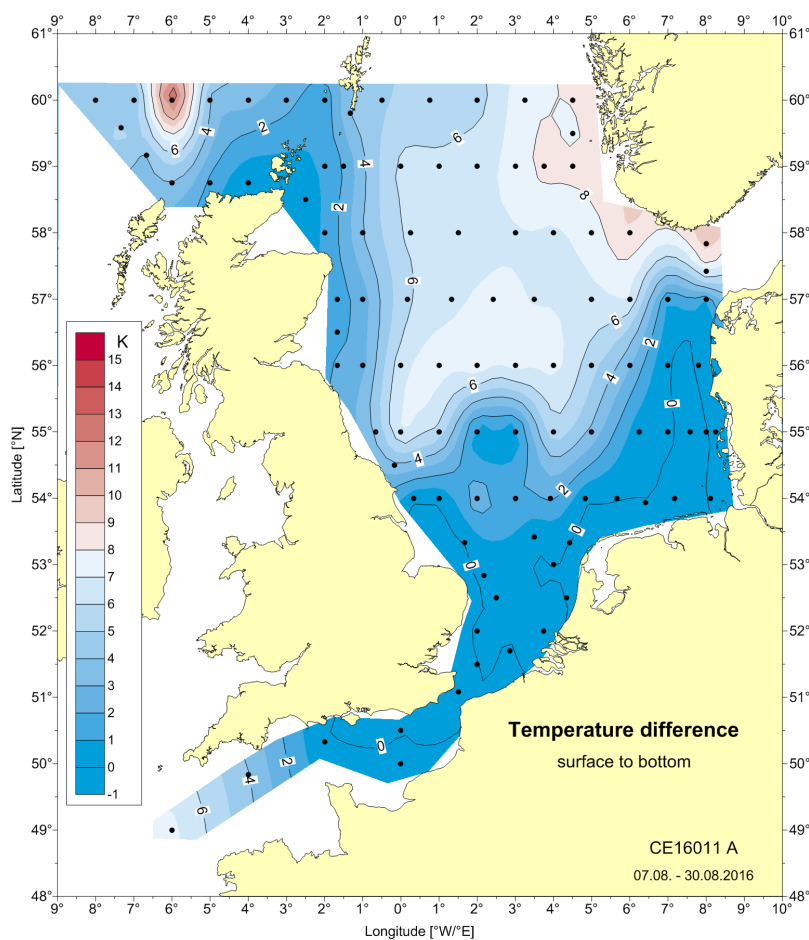


Abb. 3: Differenz Oberflächen- minus Bodentemperatur in K im Sommer 2016.

Fig. 3: Difference surface minus bottom temperature in K in summer 2016.



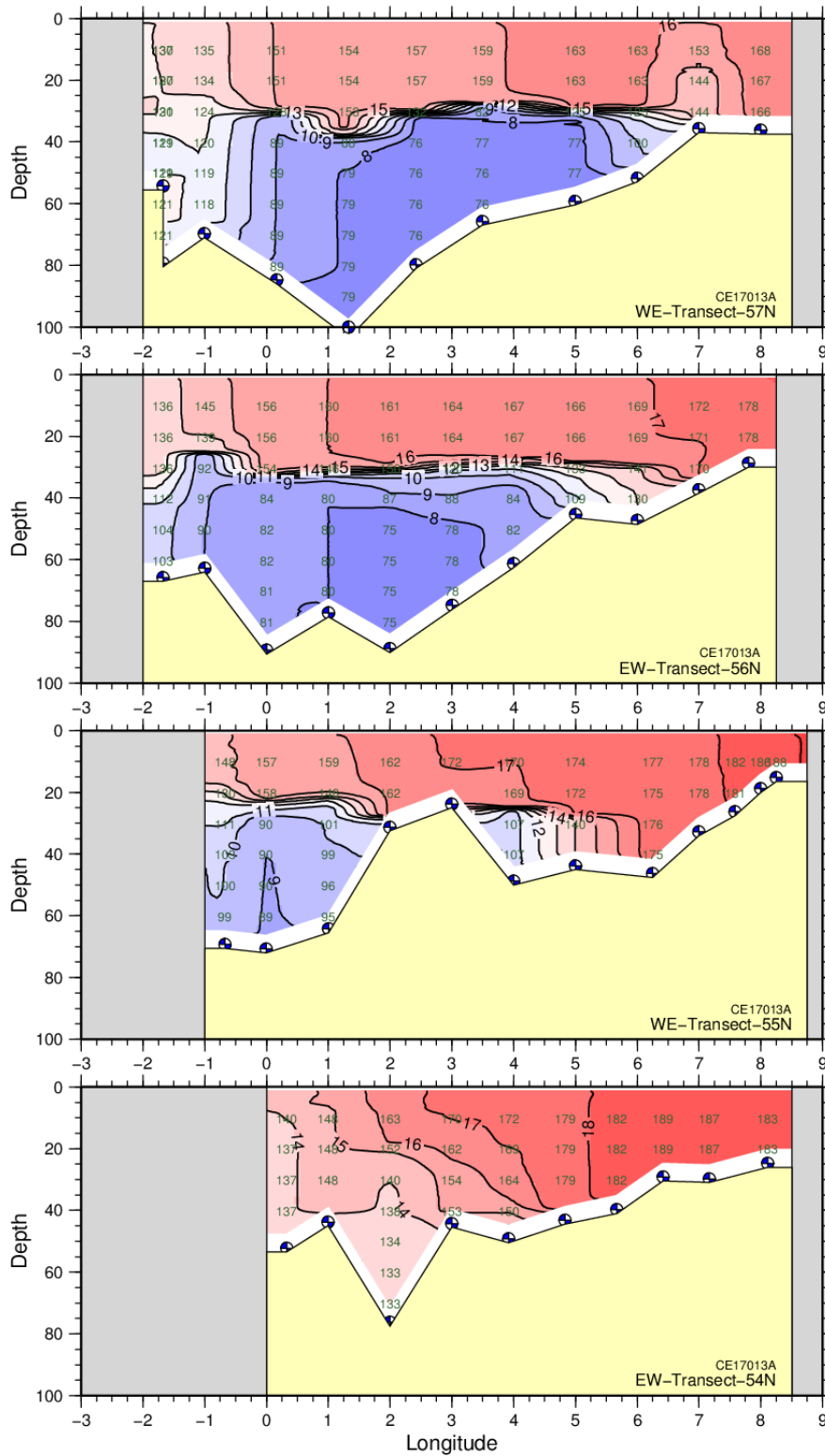


Abb. 4a: Vertikale Temperaturverteilung ( $^{\circ}\text{C}$ ) entlang des  $54^{\circ}$ ,  $55^{\circ}$ ,  $56^{\circ}$  und  $57^{\circ}\text{N}$  Schnittes im Sommer 2017. Die Zahlen zeigen die Temperatur  $\times 10$  für ausgewählte Datenpunkte.

Fig. 4a: Vertical temperature distribution ( $^{\circ}\text{C}$ ) along the  $54^{\circ}$ ,  $55^{\circ}$ ,  $56^{\circ}$ , and  $57^{\circ}\text{N}$  sections, summer 2017. The numbers in the section give temperatures  $\times 10$  for selected data points.

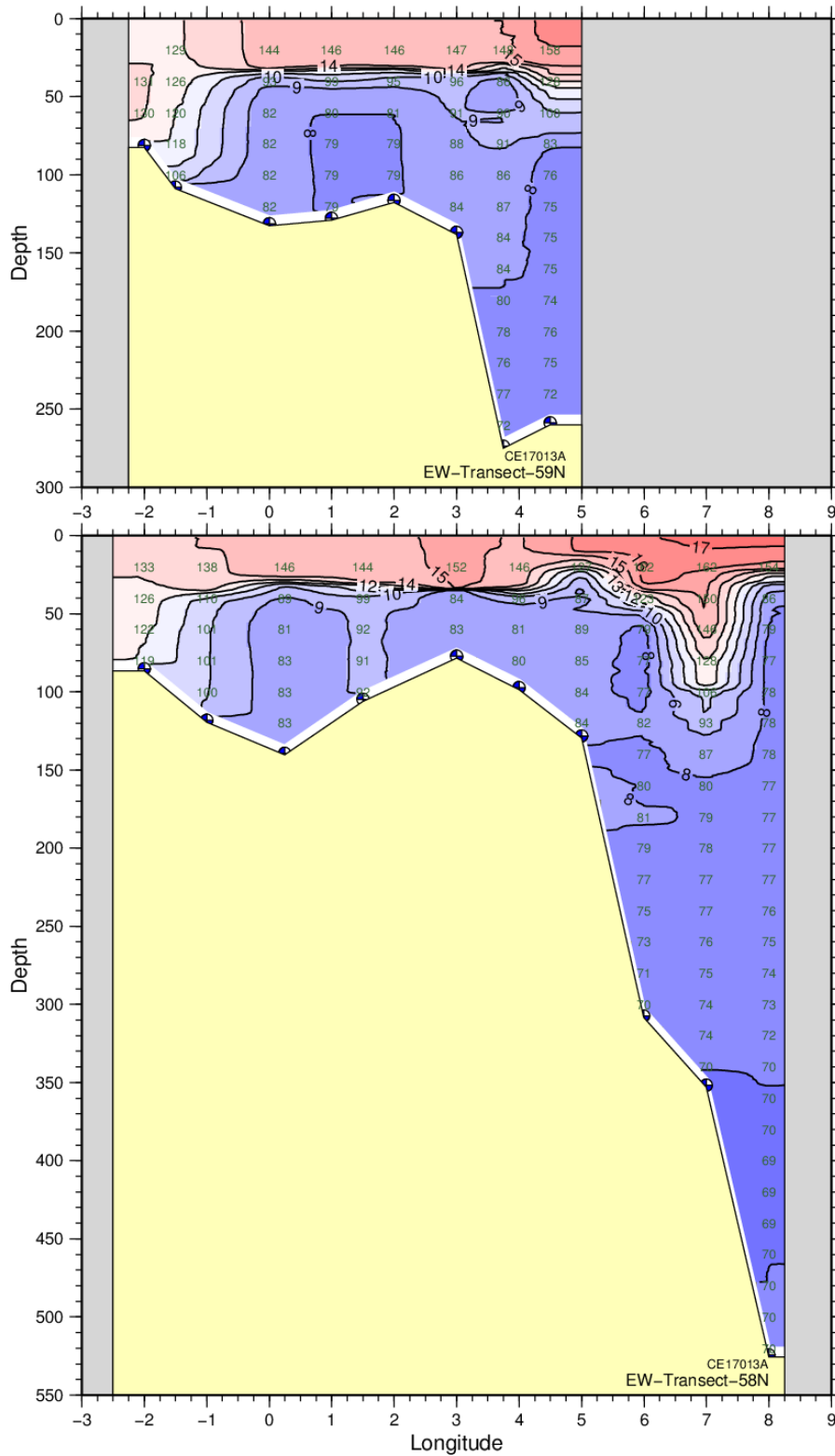


Abb. 4b: Vertikale Temperaturverteilung ( $^{\circ}\text{C}$ ) entlang des  $58^{\circ}$  und  $59^{\circ}\text{N}$  Schnittes im Sommer 2017. Die Zahlen zeigen die Temperatur  $\times 10$  für ausgewählte Datenpunkte.

Fig. 4b: Vertical temperature distribution ( $^{\circ}\text{C}$ ) along the  $58^{\circ}$  and  $59^{\circ}\text{N}$  sections, summer 2017. The numbers in the section give temperatures  $\times 10$  for selected data points.

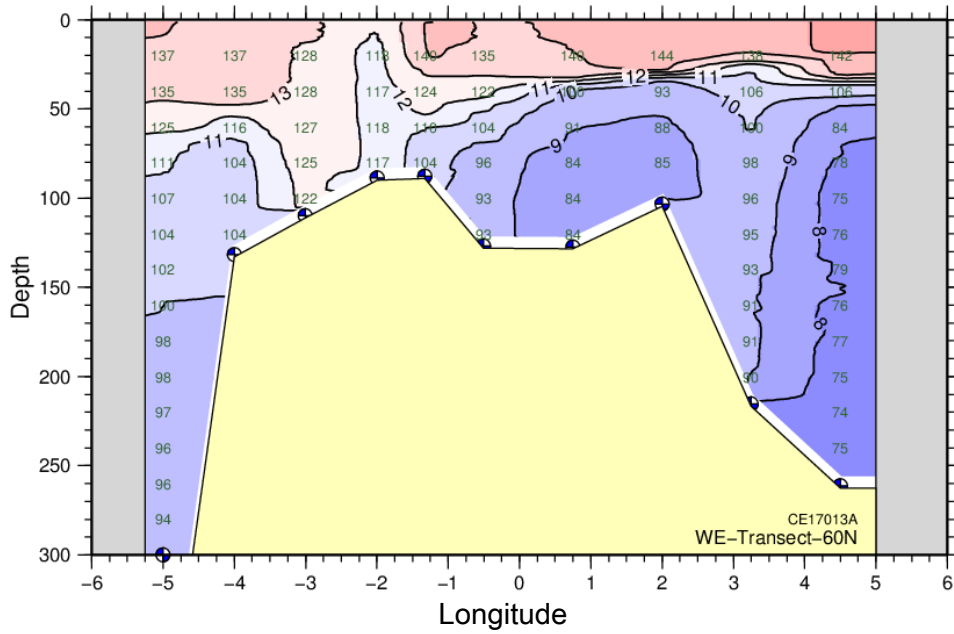


Abb. 4c: Vertikale Temperaturverteilung (°C) entlang des 60°N Schnittes im Sommer 2017. Die Zahlen zeigen die Temperatur × 10 für ausgewählte Datenpunkte.

Fig. 4c: Vertical temperature distribution (°C) along the 60°N sections, summer 2017. The numbers in the section give temperatures × 10 for selected data points.

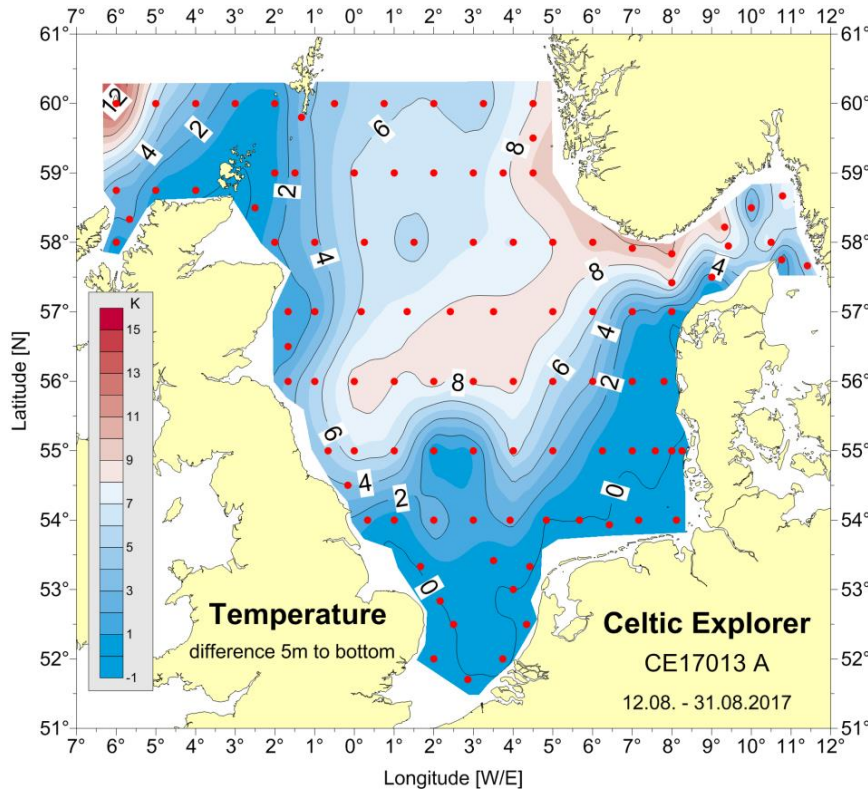


Abb. 5: Differenz Oberflächen- minus Bodentemperatur in K im Sommer 2017.

Fig. 5: Difference surface minus bottom temperature in K in summer 2017.

### 3.5.3.2 Gesamt-Wärmeinhalt der Nordsee im den Sommern 2016 und 2017

Die Tabelle 2 und Abb. 6 zeigen den Gesamt-Wärmeinhalt (THC, Total Heat Content) der Nordsee für die Jahre 1999-2017. Die Tabelle zeigt zusätzlich die bzgl. der RP normierten Anomalien des THC. Dabei ist zu beachten, dass einige Reisen vor dem Erreichen des Wärmemaximums durchgeführt wurden, insbesondere die Jahre 1999 und 2002. Gegenüber 2015 fiel der THC in 2016 geringfügig auf  $1.652 \times 10^{21}$  J ab und lag damit um 0.2 Standardabweichungen über dem Mittelwert der RP von  $1.631 \times 10^{21}$  J. Ferner wurde in 2016 das saisonale Maximum der Nordsee Oberflächentemperatur erstmalig seit Erstellung der wöchentlichen SST-Karten (1968) erst im September erreicht. In den davorliegenden Jahren trat es stets im August auf und den Jahren 1973 und 1987 bereits im Juli (siehe auch Kap. 3.5.2). In 2017 stieg der THC wieder moderat an und lag mit  $1.677 \times 10^{21}$  J 0.5 Standardabweichungen über dem Mittelwert der RP. Auch lag das saisonale Maximum der Nordsee Oberflächentemperatur in 2017 wieder im August.

date of cruise	mid-term of survey	THC [ $\times 10^{21}$ J]	$\Delta H$ [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
04.08.2015 – 23.08.2016	14.08.2016	1.652	0.24	10.9	15.5
12.08.2017 – 30.08.2017	20.08.2017	1.677	0.53	11.0	15.9
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.  $\Delta H$  = Normierte Anomalie (Differenz zur Referenzperiode in Standardabweichungen).*

*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 observation period.  $\Delta H$  = normalized anomaly (difference to reference period in standard deviations).*

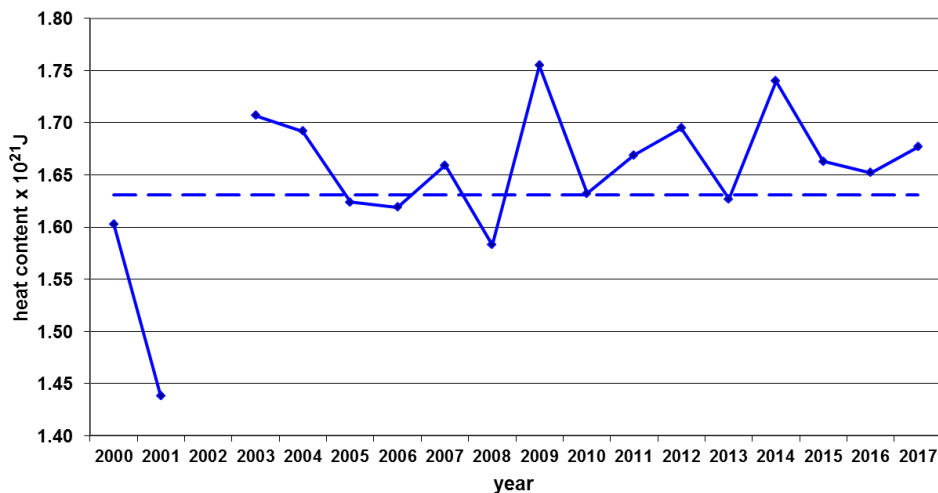


Abb. 6 Gesamt Wärmeinhalt der Nordsee im Sommer in  $10^{21}$  J von 2000 bis 2017 (ohne 2002). Gestrichelte Linie: Mittelwert der Referenzperiode 2000-2010 ( $1.631 \pm 0.086 \times 10^{21}$  J) basierend auf den Daten der Sommeraufnahmen.

Fig. 6: Total heat content in  $10^{21}$  J from 2000 to 2017 (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 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 Spannweite des Jahrgangs 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.

In 2016 bildete sich erst Mitte Mai eine stabile Schichtung, die mit einem Unterschied zwischen Oberflächen- und Bodentemperatur von 6 K Anfang Juni ihr Maximum erreichte und Ende Juni infolge starker Winde wieder zusammenbrach (Abb. 7). In der zweiten Julihälfte bildet sich kurzzeitig eine schwache Schichtung mit einer Differenz von 2 K aus. Ungewöhnlich ist die ebenfalls sehr schwache und kurzzeitige Schichtung beim Erreichen des saisonalen Maximums im September. Insgesamt war die sommerliche Schichtung am Feuerschiff Deutsche Bucht sehr schwach und zeitweise gar nicht vorhanden (siehe hierzu auch Kap. 3.5.2).

Das saisonale Winterminimum lag im Winter 2016/2017 etwa 1.5 K über dem klimatologischen Minimum (Abb. 7). In 2017 begann die saisonale Schichtung in der ersten Maiwoche und erreichte ihr Maximum mit einer Differenz zwischen Oberflächen- und Bodentemperatur von 4.2 K Anfang Juni. Infolge starker Winde brach die Saisonale Schichtung Ende Juli zusammen. An der Station *Deutsche Bucht* fehlen die Werte für den

August, aber andere in-situ Messungen aus dem Umfeld zeigen für Mitte August ein saisonales Maximum von etwa 19 °C.

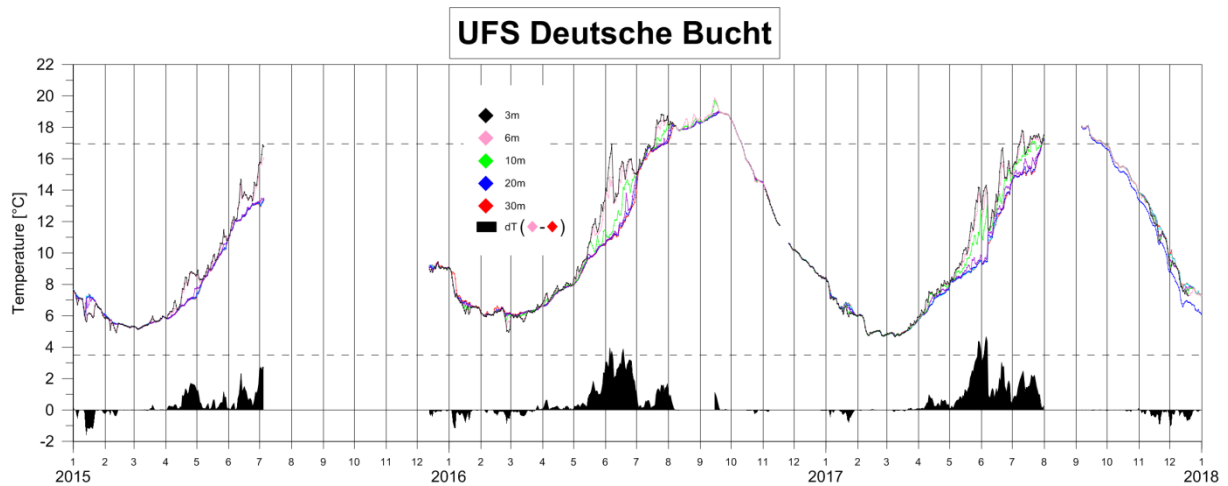


Abb. 7 Temperaturverlauf am an der MARNET-Station Deutsche Bucht in 3, 6, 10, 20 und 30 m Tiefe. In unteren Bereich ist die Temperaturdifferenz  $\Delta T$  Oberfläche minus Boden dargestellt. Die gestrichelten Linien markieren die Lage des saisonalen klimatologischen Mini- und Maximums in der Oberflächenschicht 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  $\Delta T$  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 sich unter:

[http://www.bsh.de/de/Meeresdaten/Beobachtungen/Meerestemperaturen\\_und\\_Waermeinhalte/index.jsp](http://www.bsh.de/de/Meeresdaten/Beobachtungen/Meerestemperaturen_und_Waermeinhalte/index.jsp)

Aktuelle Werte zu dem Messungen am Feuerschiff Deutsche Bucht finden sich unter:

<http://www.bsh.de/de/Meeresdaten/Beobachtungen/MARNET-Messnetz/Stationen/debu.jsp>

Bei Fragen oder Datenanforderungen wenden Sie sich bitte an Holger Klein, Telefon 040 3190 – 3220; [holger.klein@bsh.de](mailto:holger.klein@bsh.de)

Stand: 31.01.2018, Datei: 3-5-3-T-Schichtung&Waerme-2016&2017.docx