

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 2012 & 2013

<•> 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 2012 und 2013

2012:

Die großräumige Temperaturverteilung in der Boden- und Oberflächenschicht mit einem ungefähren Isothermenverlauf von SW nach NE entspricht im Wesentlichen dem Vorjahr und den mittleren Verhältnissen der RP. Dabei ist das schmale Band warmen, vertikal durchmischten Wassers entlang der norwegischen, dänischen und deutschen Küste ca. 1 K wärmer als in 2011 (Abb. 1a). An der Oberfläche weichen die Temperaturen nur um ± 0.5 K von der RP ab, während es in der Bodenschicht zu Abweichungen von bis zu ± 1.5 K mit positiven Anomalien in der östlichen zentralen Nordsee und negativen Anomalien entlang der dänischen, nordfriesischen und englischen Küste kommt. Die Fläche mit einer Bodentemperatur < 8 °C ist deutlich kleiner als in 2011.

Die Isolinien in Abb. 2a-d zeigen die Differenz von Oberflächen- und Bodentemperatur. Diese beträgt wie im Vorjahr bis zu 8 K, aber die Fläche mit einer Differenz von 8 K ist deutlich größer als in 2011. Die Abb. 2a zeigt ferner das Maximum des vertikalen Temperaturgradienten, der zwischen 0.5 und 1.7 K/m variiert. Damit ist der Gradient der Thermokline deutlich schwächer als in den vorangehenden Jahren mit Werten von bis zu 3 K/m. Gebiete mit einem Gradienten kleiner 0.5 K/m sind ausgeblendet. Abbildung 2b zeigt die Tiefe des maximalen Gradienten, d.h. die Tiefe der Thermokline, mit einem Maximum von 38 m.

Die vertikalen Ost-West-Schnitte (Abb. 3) zeigen eine Oberflächenschicht, die teilweise wärmer und teilweise kälter als die RP ist (siehe Abb. 1a). Auch innerhalb der Deckschicht zeigen sich thermische Schichtungen und Strukturen, die Thermokline ist deutlich schwächer ausgeprägt als in vielen vorangehenden Jahren. Die bodennahe Schicht in der südlichen Nordsee ist generell wärmer als die RP mit Anomalien, die lokal 2 K überschreiten.

2013:

In 2013 kam es aufgrund technischer Problem mit dem ScanFish zu größeren Datenlücken nördlich von 57° N. Es musste deshalb über größere Distanzen interpoliert werden, so dass in diesen Gebieten die Darstellungen und Berechnungen eine geringere Genauigkeit aufweisen.

Auch in 2013 entspricht die Temperaturverteilung in der Boden- und Oberflächenschicht bzgl. der räumlichen Struktur weitgehend den mittleren Verhältnissen der RP. Im Bereich des atlantischen Einstroms im Fair Isle Kanal liegen die Temperaturen an der Oberfläche etwa 1 K unter der RP. Durch den langen Winter 2012/2013 über Nordeuropa sind große Gebiete der Bodenschicht deutlich kälter als die RP mit Anomalien unter -2 K (Abb. 1b) und Temperaturen unter 6°C. In der zentralen Nordsee überschreitet die Differenz zwischen Oberflächen- und Bodentemperatur 10 K, das sind 2 K mehr als in den vorangehenden Jahren (Abb. 2). Die maximalen Gradienten der Thermokline erreichen wieder Werte von 2.7 K/m, das ist ein deutlich stärkerer Gradient als im Vorjahr und entspricht den mittleren Verhältnissen der Vorjahre mit Werten zwischen 2.5 und 3.0 K/m. Gebiete mit Gradienten < 0.5 K/m sind nicht dargestellt. Aufgrund der geringen Datendichte nördlich von 57° N wurden in 2013 auch hier keine Werte dargestellt. Die maximale Tiefe der Thermokline betrug etwa 35 m.

Die Vertikalschnitte in Abb. 4 zeigen eine sehr homogene Deckschicht mit einer starken Thermokline, die zur englischen Küste hin schwächer wird. In der Bodenschicht reicht das 6°C kalte Bodenwasser an mehreren Stellen bis unter die Thermokline.

2012

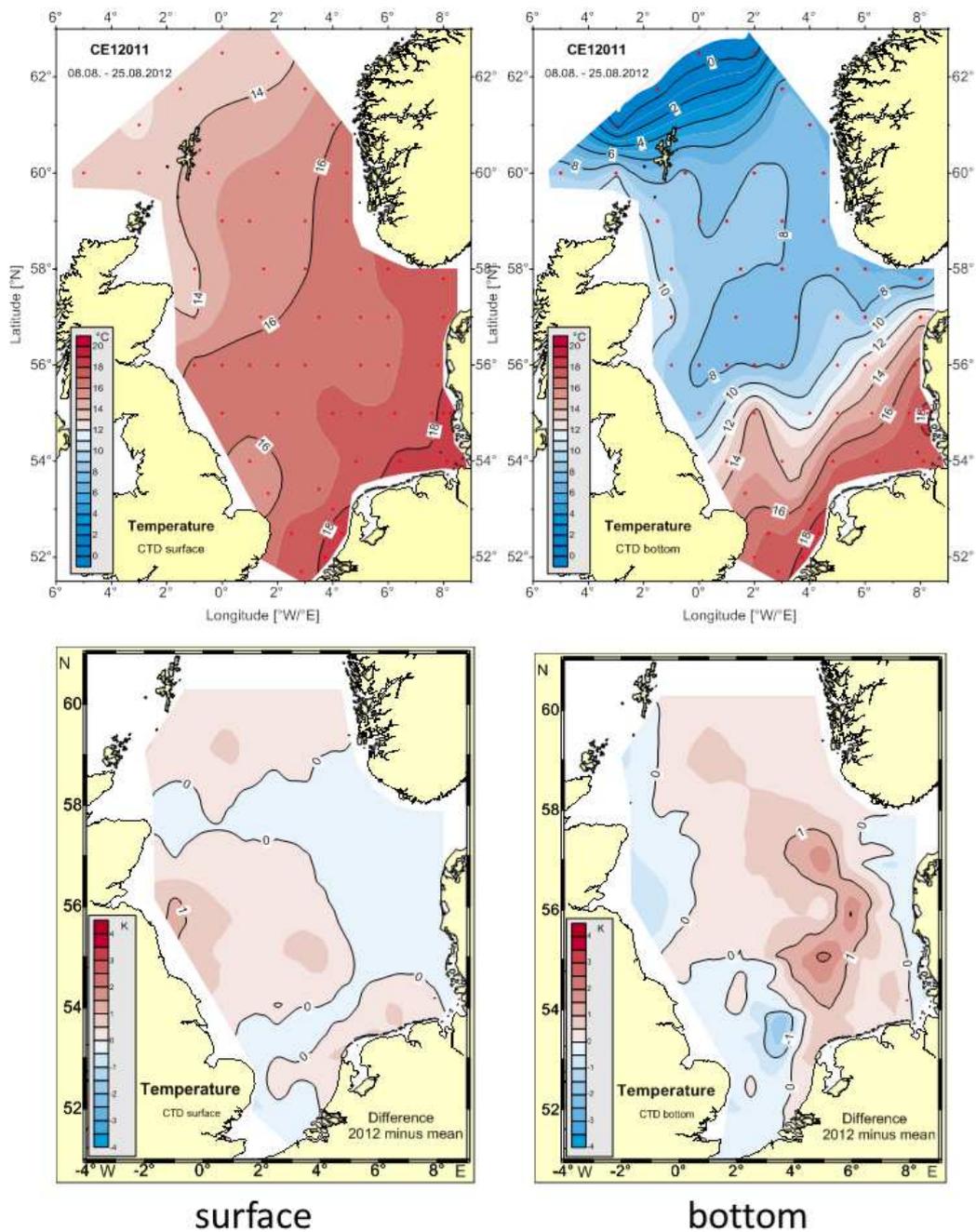


Abb. 1a: Oben: Temperaturverteilung in der Oberflächen- und Bodenschicht in °C. Unten: Temperaturanomalie (2012 – RP) in K in der Oberflächen- und Bodenschicht.

Fig. 1a: Top: Horizontal surface and bottom temperature distribution in °C. Bottom: Surface and bottom temperature anomalies (2012 – RP) in K.

2013

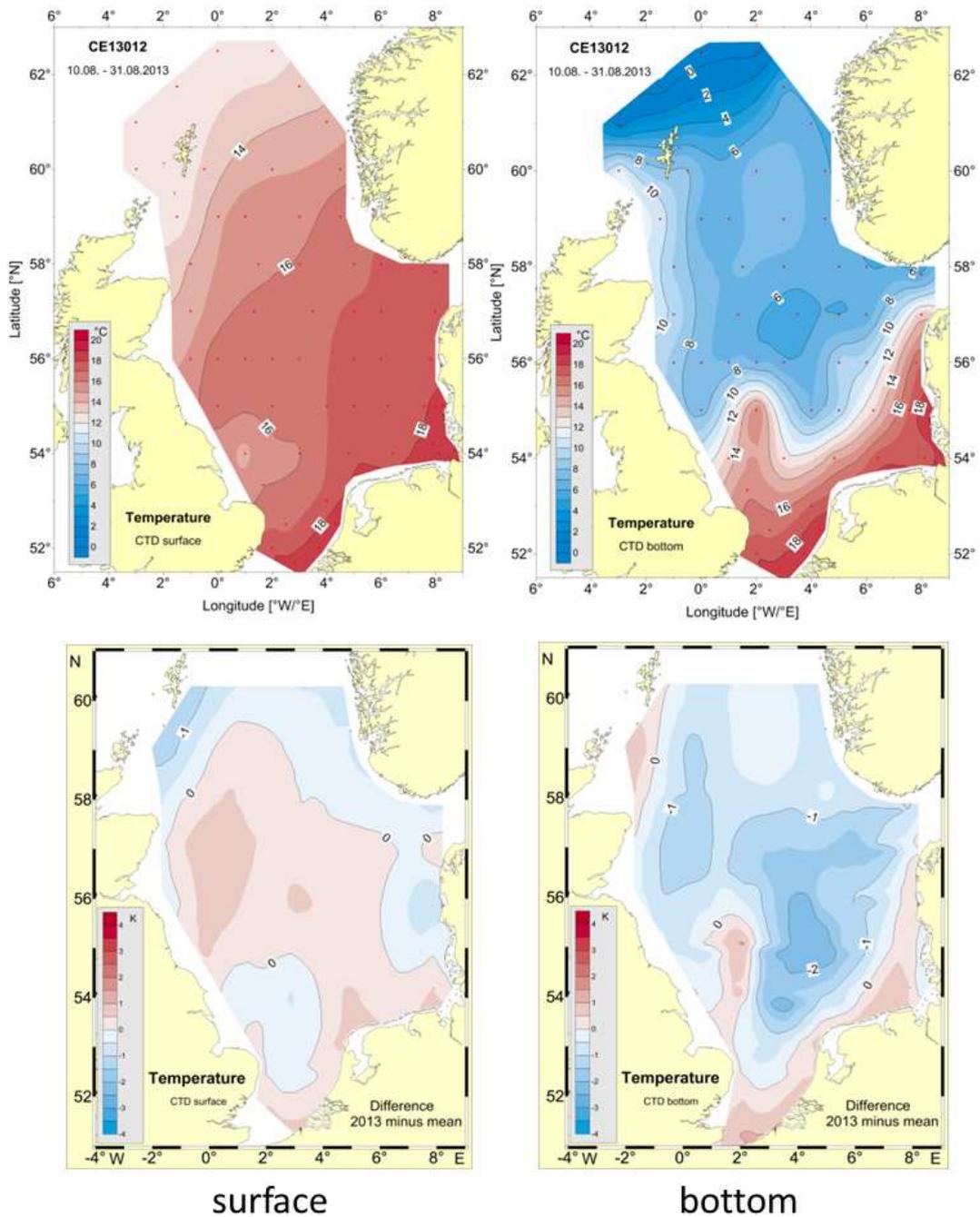
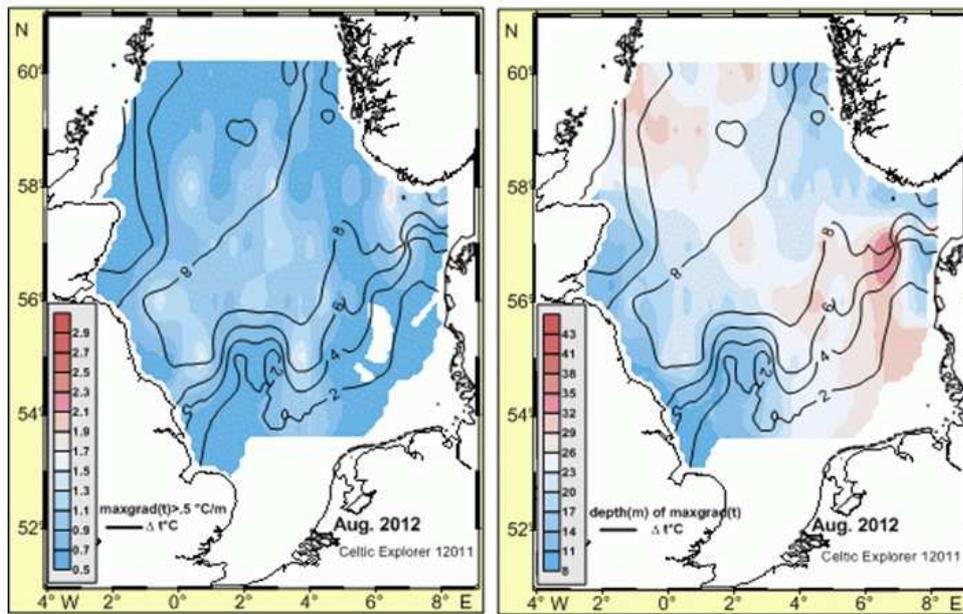


Abb. 1b: Oben: Temperaturverteilung in der Oberflächen- und Bodenschicht in °C. Unten: Temperaturanomalie (2013 – RP) in K in der Oberflächen- und Bodenschicht.

Fig. 1b: Top: Horizontal surface and bottom temperature distribution in °C. Bottom: Surface and bottom temperature anomalies (2013 – RP) in K.

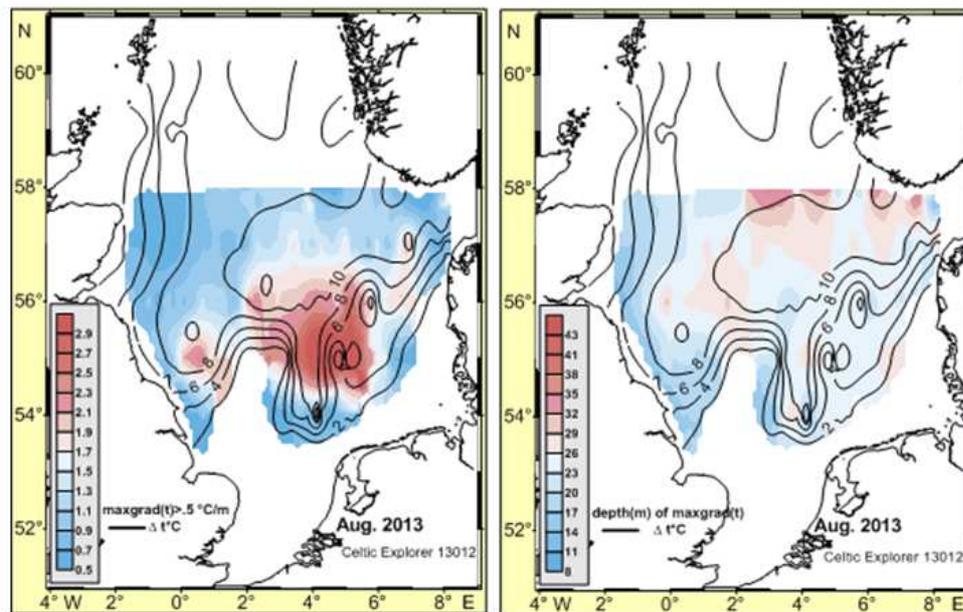
2012



a)

b)

2013



c)

d)

Abb. 2: In allen Bildern zeigen die Isolinien die Temperaturdifferenz $T_{sur}-T_{bot}$ in $^{\circ}C$. Die Farbkodierung zeigt den maximalen vertikalen Gradienten in K/m (a, c) und die Tiefe des maximalen Gradienten in m (b, d).

Fig. 2: In all figures the isolines give the difference $T_{sur}-T_{bot}$ in $^{\circ}C$. Colour coded: strength of maximum gradient in K/m (a, c) and depth of maximum gradient in m (b, d).

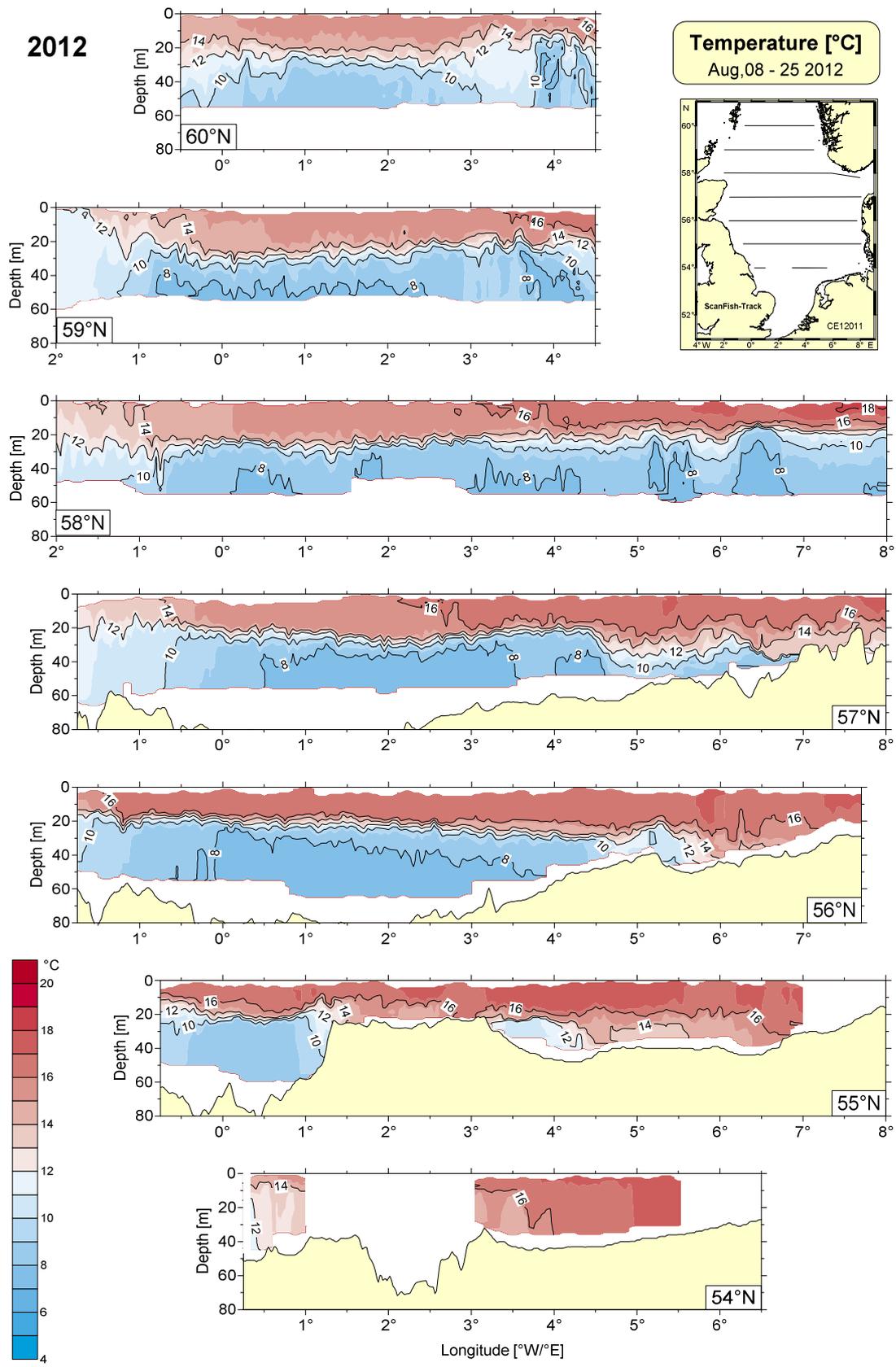


Abb. 3: Temperaturschichtung (°C) im Sommer 2012 (FS Celtic Explorer 12011a).

Fig. 3: Temperature stratification (°C) during summer 2012 (RV Celtic Explorer 12011a).

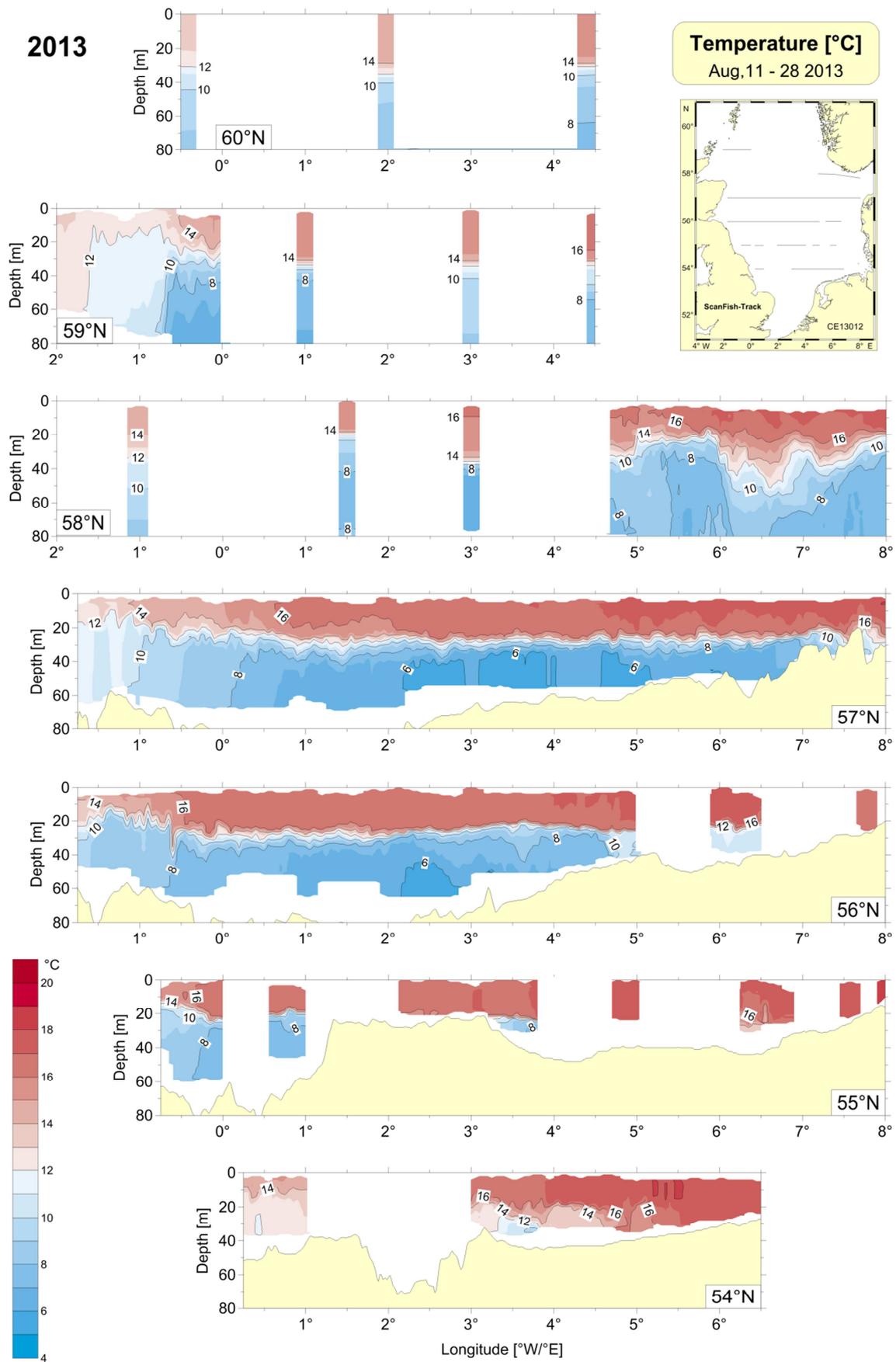


Abb. 4: Temperaturschichtung (°C) im Sommer 2013 (FS Celtic Explorer 13012a).

Fig. 4: Temperature stratification (°C) during summer 2013 (RV Celtic Explorer 13012a).

3.5.3.2 Gesamt-Wärmeinhalt der Nordsee in den Sommern 2012 und 2013

Die Tabelle 1 und Abb. 5 zeigen den Gesamt-Wärmeinhalt (THC) der Nordsee für die Jahre 1999-2013, 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. Im Vergleich zu 2011 stieg der Gesamt-Wärmeinhalt der Nordsee mit 1.695×10^{21} J leicht an und lag knapp eine halbe Standardabweichung über dem Mittel der RP von 1.631×10^{21} J. In 2013 sank der der THC auf 1.627×10^{21} J und lag fast am Mittel der RP. Ein wesentlicher Grund für die weitere Abkühlung war das ungewöhnlich kalte Bodenwasser in 2013.

date of cruise	mid-term of survey	THC [$\times 10^{21}$ J]	ΔH [std dev]	VT [$^{\circ}$ C]	SST [$^{\circ}$ 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
10 year average 2000-2010 (without 2002) ± standard deviation		1.631±0.086	-	10.70±0.57	15.98±0.99

Tabelle 1: 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 1: 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.

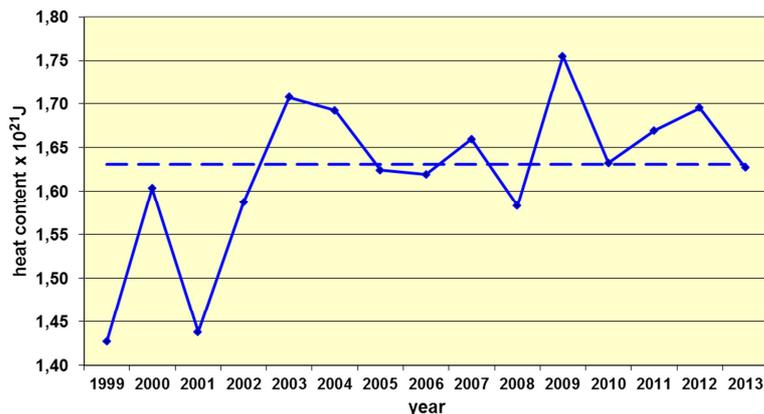


Abb. 5: Gesamt Wärmehalt der Nordsee im Sommer in 10^{21} J von 1999 bis 2013. Gestrichelte Linie: Mittelwert der Referenzperiode 2000-2010 ($1.631 \pm 0.086 \times 10^{21}$ J) basierend auf den Daten der Sommeraufnahmen.

Fig. 5: Total heat content in 10^{21} J from 1999 to 2013. 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 Temperaturmini- und Maximum in der Oberflächenschicht, 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.

2012:

Aufgrund von Wartungsarbeiten am UFS DB liegen von Mitte Juli bis Mitte August 2012 keine Messdaten vor, d.h. für den Hochsommer stehen nur die oben diskutierten Daten der Sommeraufnahme zur Verfügung. Eine erste schwache Schichtung baute sich bereits Ende März auf, weitere lokale Maxima bildeten sich im Mai und im Juni (Abb. 6). Spätestens ab Anfang September war die Wassersäule am UFS DB wieder vertikal homogen durchmischt. Ursache für die lokalen Maxima der Schichtung waren ungewöhnlich hohe Wärmeeinträge aus der Atmosphäre im März und Mai 2012. Die Daten der Sommeraufnahme zeigen für das Gebiet um das UFS DB eine sehr schwache Schichtung mit einer Temperaturdifferenz zwischen Oberfläche und Boden <2 K, vergleichbar mit den Bedingungen im Sommer 2011.

2013:

Auch in 2013 bildete sich erst Mitte May eine stabile Schichtung aus, die bis Ende September anhielt. Die Differenz zwischen Oberflächen- und Bodentemperatur betrug bis zu

7 K. Die Datenlücke von Mitte Juni bis Ende Juli wurde durch Wartungsarbeiten am Feuerschiff verursacht.

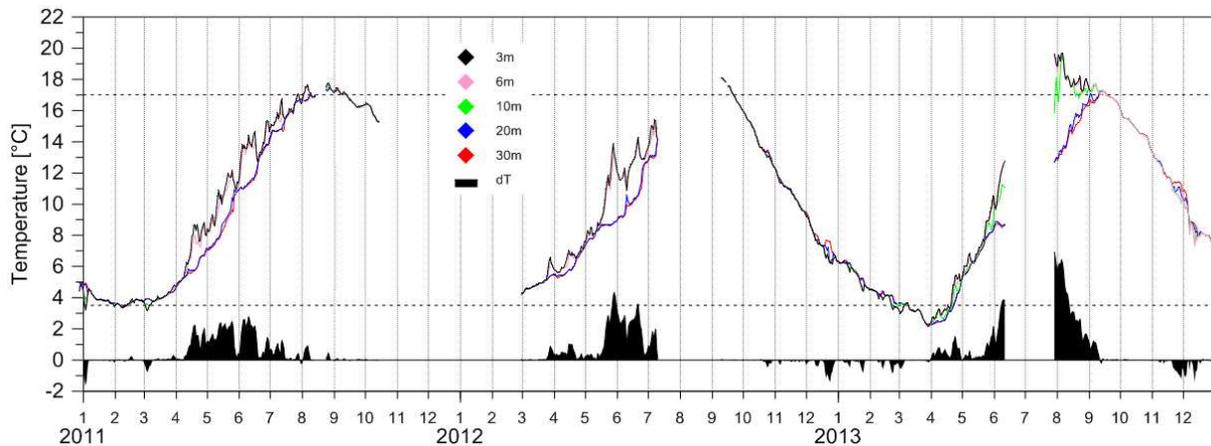


Abb. 6: Temperaturverlauf am an der MARNET-Station Deutsche Bucht in 3, 6, 10, 20 und 30 m Tiefe. In unteren Bereich ist die Temperaturdifferenz ΔT Oberfläche minus Boden dargestellt. Die gestrichelten Linien geben die Lage des saisonalen klimatologischen Mini- und Maximums in der Oberflächenschicht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

Fig. 6: 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-2012&2013.docx