

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 2020

<•> H. Klein, K. Latarius und M. Köllner • • • • •

In diesem Abschnitt wird die saisonale Temperaturschichtung anhand der Daten der Nordsee-Gesamtaufnahme im Sommer und der Jahresgang der Temperatur an der MARNET-Station NSB III dargestellt. Ferner wird der Gesamt-Wärmeinhalt zur Zeit des Temperaturmaximums der Nordsee diskutiert.

Weite Gebiete der Nordsee mit Wassertiefen größer als etwa 30 m sind im Sommerhalbjahr thermisch geschichtet. In der als Thermokline bezeichneten Temperatursprungschicht zwischen warmer Deckschicht und kälterer Bodenschicht können sich bei voll entwickelter Schichtung regional Temperaturgradienten von mehr als drei Kelvin pro Meter ausbilden. Da sich mit der Temperatur auch die Dichte ändert, stellt die Thermokline eine Dichtebarrriere dar, die den vertikale Stoff- und Gasaustausch deutlich behindert. In den flacheren Gebieten, wo sich die bodennahen gezeitenstrom- und oberflächennahen windinduzierten Turbulenzonen 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 Salzgehaltsgradienten 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 lokal und von Jahr zu Jahr variieren.

3.5.3.1 Saisonale Temperaturschichtung im Sommer 2020

Die Nordsee-Sommernautnahme 2020 (*Celtic Explorer* Reise CE20017) fand zwischen dem 23. Juli und dem 7. August statt. Sie endete vier Tage vor dem Erreichen des saisonalen Maximums der wöchentlichen Flächenmittel der Nordsee-Oberflächentemperatur (SST), das mit 16.8 °C vom 12.8. bis zum 25.8. anhielt. Bei Beginn der Messungen am 23.7. lag das wöchentliche SST-Flächenmittel bei 15.2 °C und zum Ende der Reise bei 16.0 °C.

Im Vergleich zum 10-Jahresmittel 2000-2010 (ohne 2002) zeigten die Oberflächentemperaturen der gesamten Nordsee nur negative Anomalien, die von den Küsten her zunahmen und in der zentralen Nordsee bis zu -2.5 K betrugen (Abb. 1). In der Bodenschicht traten östlich der englischen Küste negative Anomalien von bis zu -1 K auf, in der zentralen und östlichen Nordsee waren die Anomalien positiv und erreichten Werte von bis zu +3 K im Bereich der Doggerbank und +2.5 K südlich von Norwegen.

Auf dem zonalen (Ost-West) 54°N Schnitt waren die Isothermen nach Westen geneigt, ohne dass sich eine Thermokline ausbildete. Entlang der 55°N bis 58°N Schnitte bildete sich östlich des Nullmeridians eine scharfe Thermokline in Tiefen zwischen 20 und 40 m aus (Tabelle 1 und Abb. 2a-c). Der 58°N Schnitt zeigte östlich von 6°E einen sehr weichen Übergang zwischen Oberflächen- und Bodenschicht über der Norwegischen Rinne, dessen Gradientzone sich bis in 80 m Tiefe erstreckte. Auch der 59°N und 60°N Schnitt zeigte in diesem Bereich eine Abschwächung des vertikalen Temperaturgradienten.

Die maximalen vertikalen Temperaturgradienten in der Thermokline wurden mit 1.9 K/m auf dem 57°N und 58°N Schnitt gemessen. Die Differenz zwischen Oberflächen- und Bodentemperatur betrug in der zentralen Nordsee 6 K und, auf Grund der größeren Wassertiefe, 8 K über der zentralen Norwegischen Rinne (Abb. 3).

section	vertical gradients >0.5 [K/m]		depth of thermocline [m]	
	min	max	min	max
2020				
60° N	0.6	1.3	26	29
59° N	0.9	1.2	19	30
58° N	0.6	1.9	19	41
57° N	0.8	1.9	28	41
56° N	0.5	1.7	24	35
55° N	0.7	1.1	15	26
54° N	—	—	—	—

Tabelle 1: Extremwerte des vertikalen Temperaturgradienten und der Tiefe der Thermokline (Tiefe des maximalen vertikalen Gradienten).

Table 1: Extremes of vertical temperature gradients and thermocline depths (depths of maximum gradients) along the zonal sections.

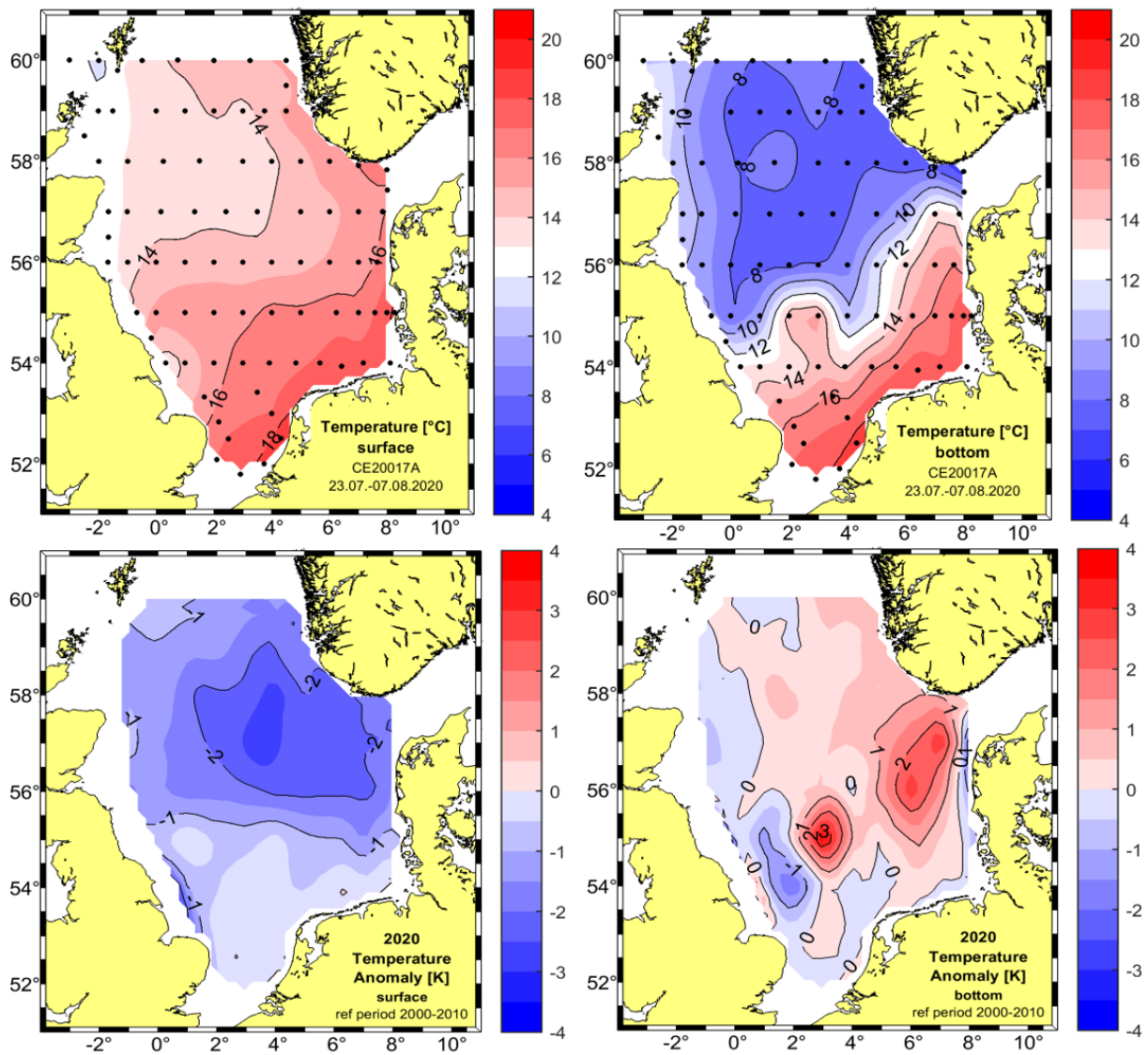


Abb. 1: Temperaturverteilung in der Oberflächen- und Bodenschicht [°C] (oben) mit Anomalien bzgl. der Referenzperiode 2000-2010 [K] (unten).

Fig. 1: Horizontal surface and bottom temperature distribution [°C] (top) and anomalies [K] w.r.t. the reference period 2000-2010 (bottom).

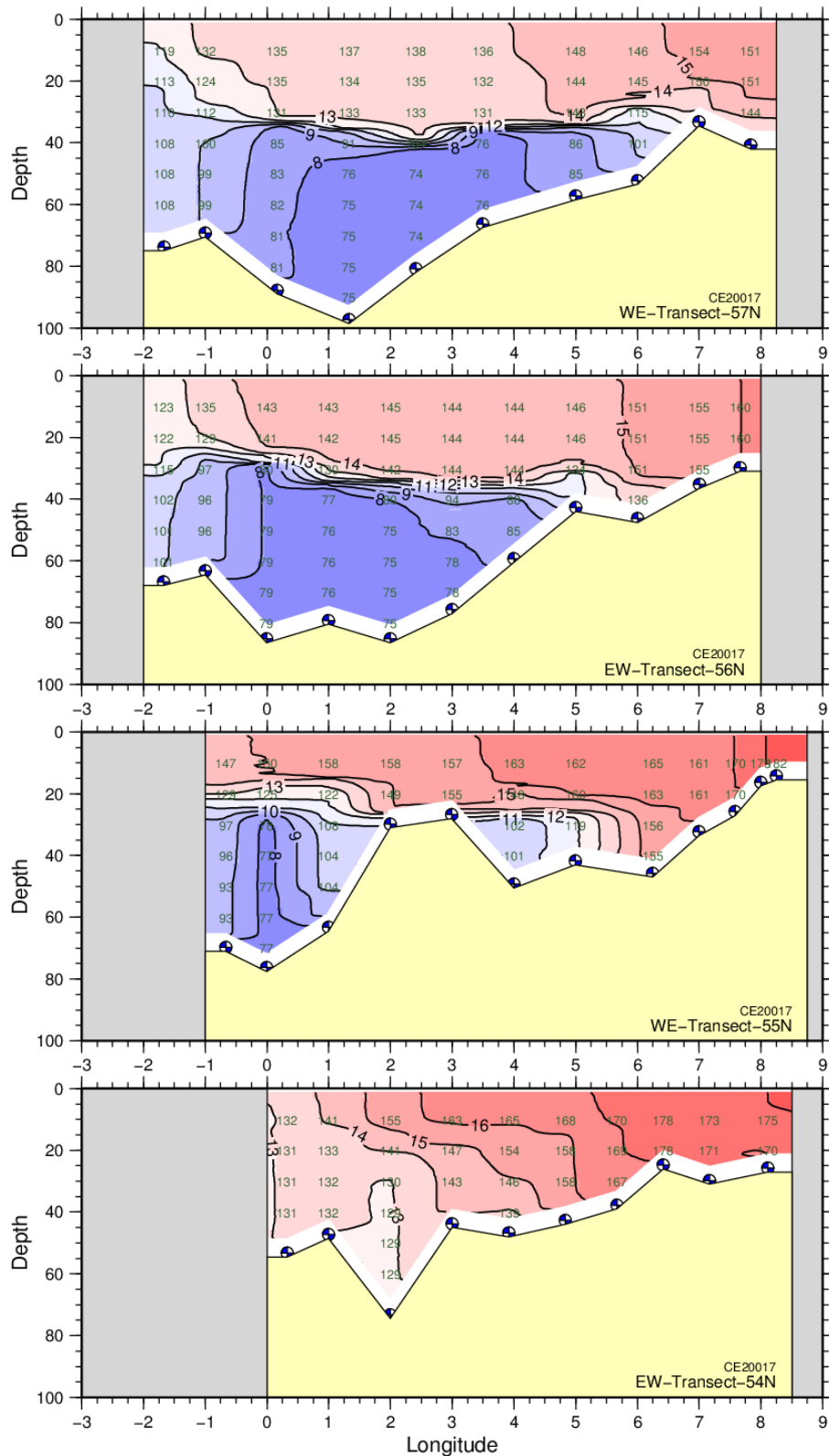


Abb. 2a: Vertikale Temperaturverteilung [°C] entlang des 54°, 55°, 56° und 57°N Schnittes. Die vertikalen Zahlenreihen zeigen die Temperatur $\times 10$ für ausgewählte Datenpunkte.

Fig. 2a: Vertical temperature distribution [°C] along the 54°, 55°, 56°, and 57°N section. Vertical number columns give temperatures $\times 10$ for selected data points.

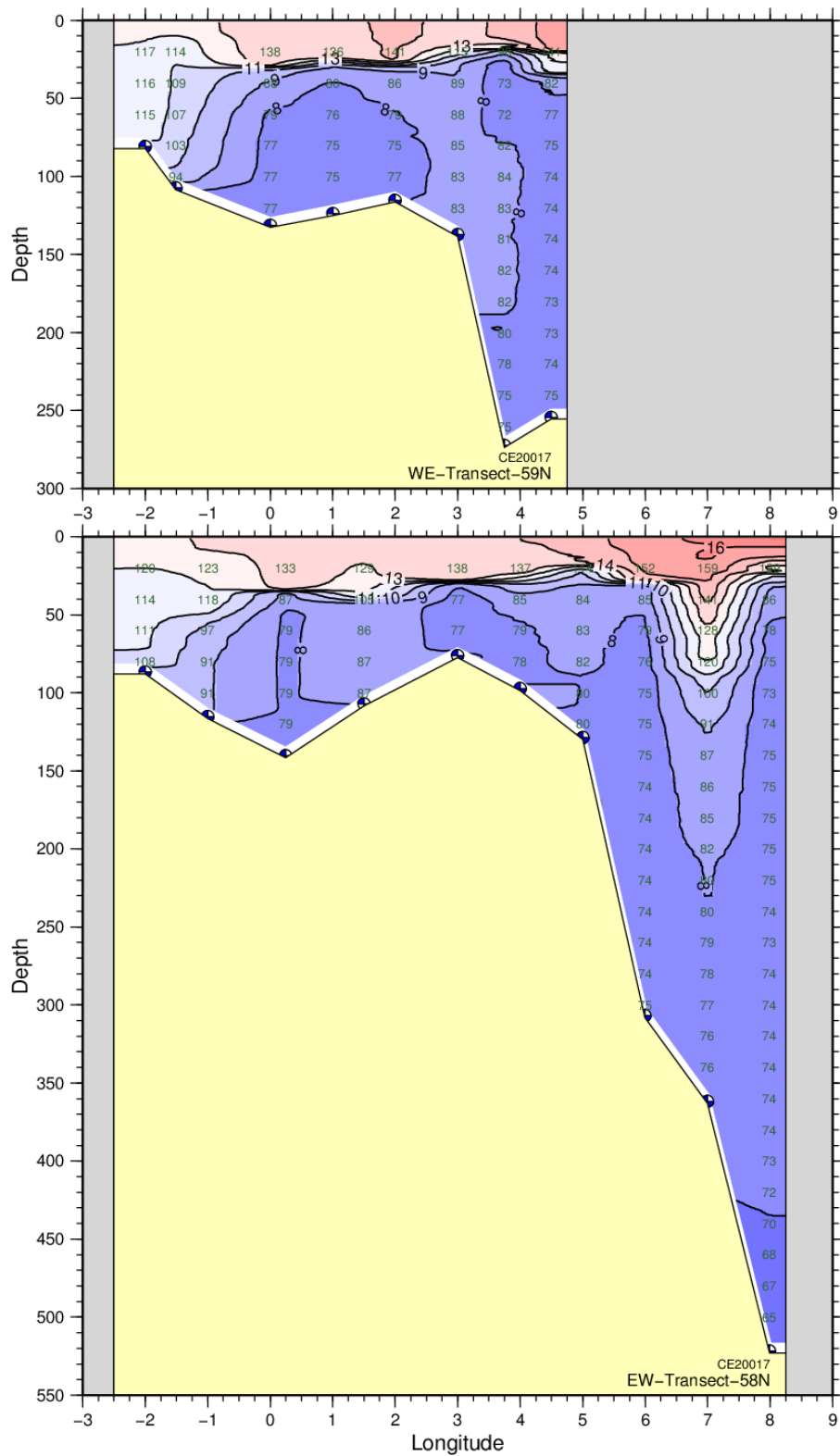


Abb. 2b: Vertikale Temperaturverteilung [°C] entlang des 58° und 59°N Schnittes. Die vertikalen Zahlenreihen zeigen die Temperatur $\times 10$ für ausgewählte Datenpunkte.

Fig. 2b: Vertical temperature distribution [°C] along the 58° and 59°N section. Vertical number columns give temperatures $\times 10$ for selected data points.

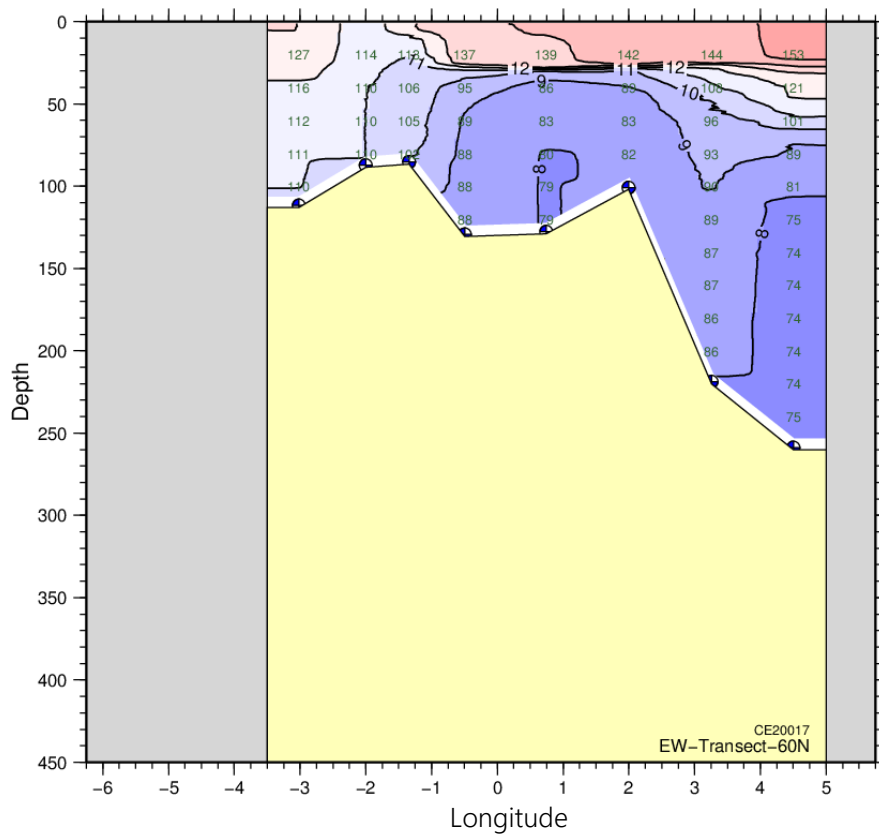


Abb. 2c: Vertikale Temperaturverteilung [°C] entlang des 60°N Schnittes. Die vertikalen Zahlenreihen zeigen die Temperatur $\times 10$ für ausgewählte Datenpunkte.

Fig. 2c: Vertical temperature distribution [°C] along the 60°N section. Vertical number columns give temperatures $\times 10$ for selected data points.

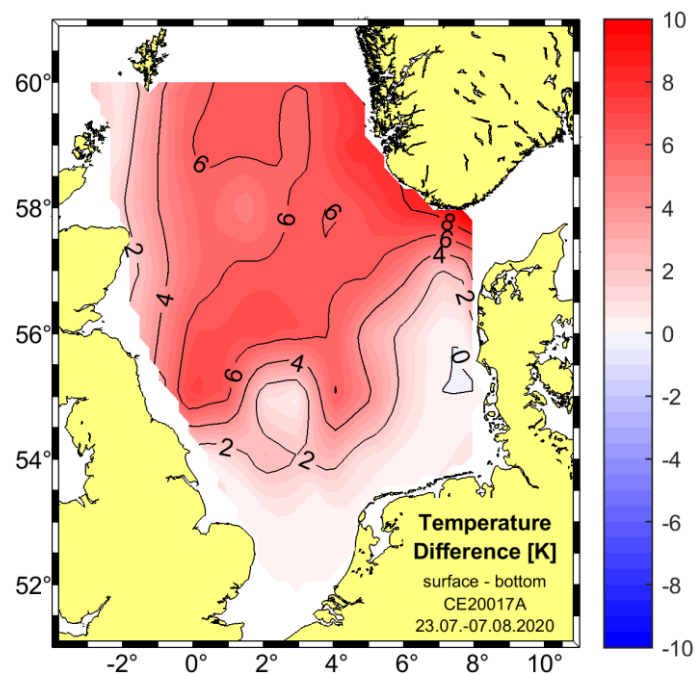


Abb. 3: Differenz Oberflächen- minus Bodentemperatur [K].

Fig. 3: Difference surface minus bottom temperature [K].

3.5.3.2 Gesamt-Wärmeinhalt der Nordsee im Sommer 2020

Tabelle 2 und Abb. 4 zeigen den Gesamt-Wärmeinhalt (THC, Total Heat Content) der Nordsee für die Jahre 2000-2020. Die Tabelle zeigt zusätzlich die bzgl. der Referenzperiode 2000-2020 normierten Anomalien des THC. Das Jahr 2002 wurde nicht mit einbezogen, da die Reise deutlich vor dem Erreichen des saisonalen Wärmemaximums durchgeführt wurde. In 2020 fiel der THC gegenüber dem Vorjahr geringfügig ab und lag mit 1.645×10^{21} J nur 0.1 Standardabweichungen unter dem Mittelwert der Referenzperiode (1.652×10^{21} J). Auch die Volumentemperatur und die Sommer-SST (JAS) lagen dicht am Mittelwert der Referenzperiode.

date of cruise	mid-term of survey	THC [$\times 10^{21}$ J]	THC anomaly [std dev]	VT [°C]	summer SST [°C]
09.08.2000 - 23.08.2000	06.08.2000	1.603	-0.73	10.5	14.4
11.07.2001 - 02.08.2001	27.07.2001	1.438	-3.20	9.4	15.2
16.07.2002 - 31.07.2002	25.07.2002	-	-	-	-
28.07.2003 - 13.08.2003	04.08.2003	1.707	0.83	11.2	16.4
05.08.2004 - 20.08.2004	12.08.2004	1.692	0.60	11.1	15.6
10.08.2005 - 29.08.2005	20.08.2005	1.624	-0.42	10.7	14.9
02.08.2006 - 20.08.2006	11.08.2006	1.619	-0.49	10.6	16.4
03.08.2007 - 17.08.2007	10.08.2007	1.659	0.11	10.9	14.9
21.07.2008 - 05.08.2008	29.07.2008	1.583	-1.03	10.4	15.4
20.08.2009 - 09.09.2009	29.08.2009	1.755	1.54	11.5	15.6
04.08.2010 - 24.08.2010	13.08.2010	1.632	-0.30	10.7	15.2
08.08.2011 - 28.08.2011	17.08.2011	1.669	0.26	11.0	14.9
07.08.2012 - 26.08.2012	16.08.2012	1.695	0.65	11.1	15.0
10.08.2013 - 31.08.2013	21.08.2013	1.627	-0.37	10.7	15.3
02.08.2014 - 21.08.2014	12.08.2014	1.740	1.32	11.4	16.1
08.08.2015 - 26.08.2015	18.08.2015	1.663	0.17	10.9	14.8
04.08.2015 - 23.08.2016	14.08.2016	1.652	0.00	10.9	15.8
12.08.2017 - 30.08.2017	20.08.2017	1.677	0.38	11.0	15.4
29.08.2018 - 10.09.2018	05.09.2018	1.650	-0.03	10.6	16.1
27.08.2019 - 14.09.2019	04.09.2019	1.707	0.83	11.2	15.5
23.07.2020 - 07.08.2020	31.07.2020	1.645	-0.10	11.0	15.2
20 year average 2000-2020 (without 2002) ± standard deviation		1.652±0.067	-	10.84±0.44	15.4±0.57

Tabelle 2: Gesamt-Wärmeinhalt (THC) mit normierter Anomalie, mittlerer Volumentemperatur (VT) und Nordsee Sommer SST (JAS).

Table 2: Total heat content (THC) with normalized anomaly, mean volume temperature (VT) and North Sea summer SST (JAS).

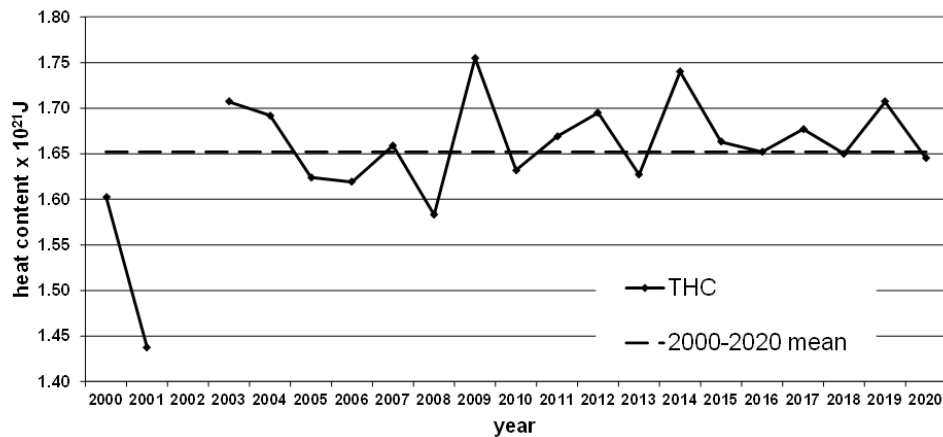


Abb. 4: Gesamt Wärmeinhalt der Nordsee im Sommer in 10^{21} J von 2000 bis 2020 (ohne 2002). Gestrichelte Linie: Mittelwert der Referenzperiode 2000-2020 ($1.652 \pm 0.067 \times 10^{21}$ J) basierend auf den Daten der Sommeraufnahmen.

Fig. 4: Total heat content in 10^{21} J from 2000 to 2020 (without 2002). Broken line: mean of reference period 2000-2020 ($1.652 \pm 0.067 \times 10^{21}$ J) based on summer cruise data.

3.5.3.3 Der Jahresgang der Temperatur in der Deutsche Bucht

Die Temperaturbedingungen in der Deutschen Bucht werden exemplarisch anhand ausgewählter ortsfester MARNET-Stationen dokumentiert. Dabei wird je nach Datenlage die Station ausgewählt, die den saisonalen Zyklus am vollständigsten abdeckt. Lücken in den Aufzeichnungen entstehen u.a. durch technische Probleme, Bewuchs der Sensoren (Biofouling) oder Instandhaltungsarbeiten, bzw. Wartezeiten. Generell baut sich die thermische Schichtung zwischen Ende März und Anfang Mai auf und dauert bis Ende August oder Mitte September, wenn die Schichtung durch die Herbst- und Winterstürme bis zum nächsten Frühjahr aufgebrochen wird.

In 2020 wird der saisonale Jahresgang in der Deutschen anhand der MARNET-Station¹ *NSB III* auf $54^{\circ} 40.97'N$; $006^{\circ} 45.27'E$ dokumentiert. Das saisonale Temperaturminimum von $7.3^{\circ}C$ wurde in den ersten Märztagen beobachtet (Wassertiefe 6 m), die thermische Schichtung begann Mitte April (Abb. 5). Infolge kurzzeitiger Zusammenbrüche der Schichtung infolge von Starkwindereignissen, bildeten sich vor dem Erreichen des saisonalen Maximums von $20.7^{\circ}C$ Mitte August drei ausgeprägte relative Maxima aus: In den ersten Maitagen, Anfang Juni und in der letzten Juniwoche. Wenige Tage nach Erreichen des saisonalen Maximums brach die Schichtung für den Rest des Jahres zusammen, die Wassersäule war wieder vertikal durchmischt.

¹ https://www.bsh.de/DE/DATEN/Meeresumweltsmessnetz/meeresumweltsmessnetz_node.html

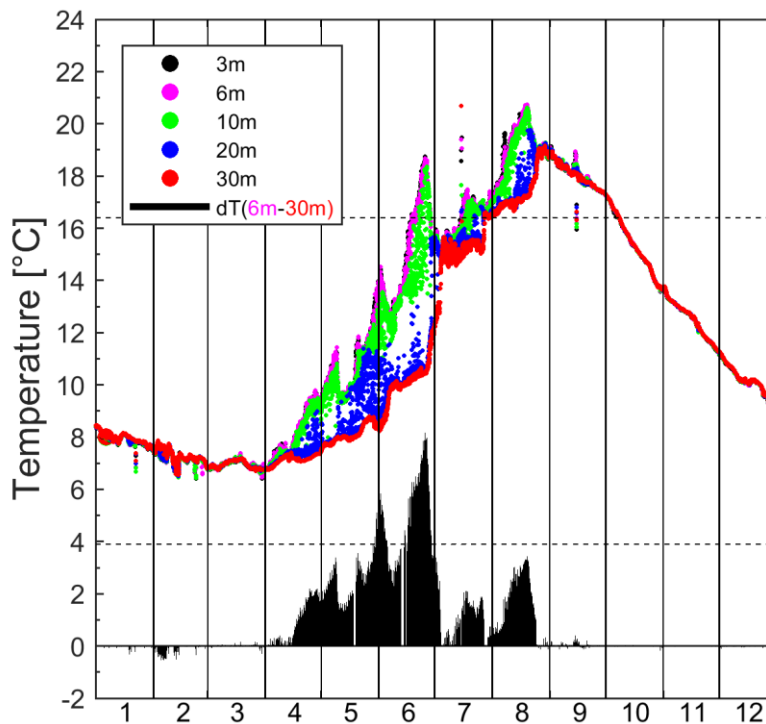


Abb. 5: Temperaturverlauf 2020 an der MARNET-Station NSB III in 3, 6, 10, 20 und 30 m Tiefe. Im unteren Bereich ist die Temperaturdifferenz Oberfläche minus Boden dargestellt. Die gestrichelten Linien markieren das saisonale klimatologische Mini- und Maximum in der Oberflächenschicht nach Janssen et al., 1999.

Fig. 5: Temperature time series at MARNET station NSB III in 3, 6, 10, 20 and 30 m depth. The lower part of the diagram shows the temperature difference 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:

https://www.bsh.de/DE/DATEN/Meerestemperaturen/meerestemperaturen_node.html;jsessionid=0A67272A5F6C992351F66F96577337BF.live21303

Aktuelle Werte zu dem MARNET-Stationen in der Deutsche Bucht finden sich unter:

https://www.bsh.de/DE/DATEN/Meeresumweltmessnetz/meeresumweltmessnetz_node.html

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