

Fahrtbericht:
Praktikumsausfahrt SS 2001 für
Nebenfächler mit der ALKOR

Fahrtleitung:

Sabine Harms

Teilnehmer:

A. Dix, R. Harders, I. Knauf, U. Kunz,
S. Mansor, M. Marquardt, M. Müller, S. Münn,
P. Schubert, B. Walter, M. Weiß, M. Zimmerer

30.7.2001 – 02.08.2001

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	6
1.1	Fahrtablauf	6
1.2	Tagesprotokolle	8
1.2.1	Erster Tag, 30.07.2001	9
1.2.2	Zweiter Tag, 31.07.2001	10
1.2.3	Dritter Tag, 01.08.2001	11
1.2.4	Vierter Tag, 02.08.2001	12
1.3	Verankerungsauslegung	13
1.4	Oberflächensalzgehalt und -temperatur	14
1.5	Meteorologische Verhältnisse	14
2	Meteorologie	18
2.1	Einleitung	18
2.2	Darstellung der meteorologischen Grössen der Ausfahrt	18
2.2.1	Wind	18

2.2.2	Luftdruck	19
2.2.3	Feuchte	19
2.2.4	Temperatur	22
2.2.5	Strahlung	22
2.2.6	Wärmefflüsse	22
2.3	Einbettung in die grössere Wetterlage und Winde der vorhergehenden Tage	24
2.4	Diskussion der meteorologischen Verhältnisse und deren Einfluss auf die ozeanographischen Messungen	24
2.5	Erklärung, welche Sensoren benutzt bzw. wie sie korrigiert oder durch theoretischen Daten ersetzt wurden.	25
2.5.1	Wind	25
2.5.2	Temperatur	25
3	Gerätevergleich und Kalibrierung	32
3.1	Geräte im Vergleich	32
3.1.1	Methoden zur Temperaturmessung	32
3.1.2	Temperaturdifferenz zwischen CTD und Kippthermometer	34
3.1.3	Temperaturdifferenz zwischen CTD und Thermosalinograph	35
3.1.4	Temperaturdifferenz zwischen CTD und Pütz	37
3.1.5	Temperaturdifferenz zwischen Thermosalinograph und Pütz	37
3.1.6	Methoden zur Messung des Salzgehaltes	37
3.1.7	Vergleich der Salzgehaltsmessungen von CTD und Thermosalinograph	41

3.1.8	Vergleich der Salzgehaltsmessungen von CTD und der Schöpferprobe	42
3.1.9	Vergleich der Salzgehaltsmessungen zwischen Thermosalinograph und der am TSG abgefüllten Proben	42
3.2	Kalibrierung	44
4	CTD-Messungen	46
4.1	Einleitung	46
4.2	Fehmarnbelt - Schnitt	46
4.2.1	Temperatur	46
4.2.2	Salzgehalt	47
4.2.3	Dichte	47
4.2.4	Chlorophyll a	48
4.2.5	Sauerstoff	49
4.3	Topographischer Längsschnitt	49
4.3.1	Temperatur	49
4.3.2	Salzgehalt	50
4.3.3	Dichte	51
4.3.4	Chlorophyll a	51
5	ADCP-Messungen	53
5.1	Einleitung	53
5.1.1	Funktionsweise des Geräts	53

5.1.2	Datenverarbeitung	53
5.2	Ergebnisse und Diskussion	54
5.2.1	Querschnitt durch den Fehmarnbelt	54
5.2.2	Längsschnitt durch die westliche Ostsee	56
5.3	Vergleich mit der Strömungsvorhersage des BSH (Bundesamt für Schifffahrt und Hydrographie)	58

1 Einführung

1.1 Fahrtablauf

Die Ausfahrt des Praktikums der Physikalischen Ozeanographie für Nebenfächler im Sommersemester 2001 fand vom 30.7. bis zum 2.8.2001 auf der *FS Alkor* statt. Nachdem wir im Proseminar verschiedene Themenbereiche sowie Meßverfahren der Ozeanographie kennengelernt haben, war es nun Ziel, Messungen auf See praktisch durchzuführen, und einen Einblick in die hydrographischen Verhältnisse der Ostsee zu erhalten. Für den Programmablauf, siehe Tabelle 1.1. Uhrzeiten wurden nach UTC-Zeit festgehalten.

30.07.2001	5:45	an Bord Alkor (6:00 Auslaufen) Übernachtung Warnemünde, Jugendheim
31.07.2001	5:00	Auslaufen Alkor Warnemünde Übernachtung Saßnitz auf <i>MS Brigitte</i>
01.08.2001	5:00	Auslaufen Alkor Saßnitz Übernachtung Warnemünde, Jugendheim
02.08.2001	5:00	Auslaufen Alkor Warnemünde
	16:00	Ankunft in Kiel

In Karte 1.1 sind die Fahrtroute sowie die einzelnen Meßstationen dargestellt.

Für die Messungen und Auswertungen haben wir uns in Arbeitsgruppen aufgeteilt (vgl. Tabelle 1.2).

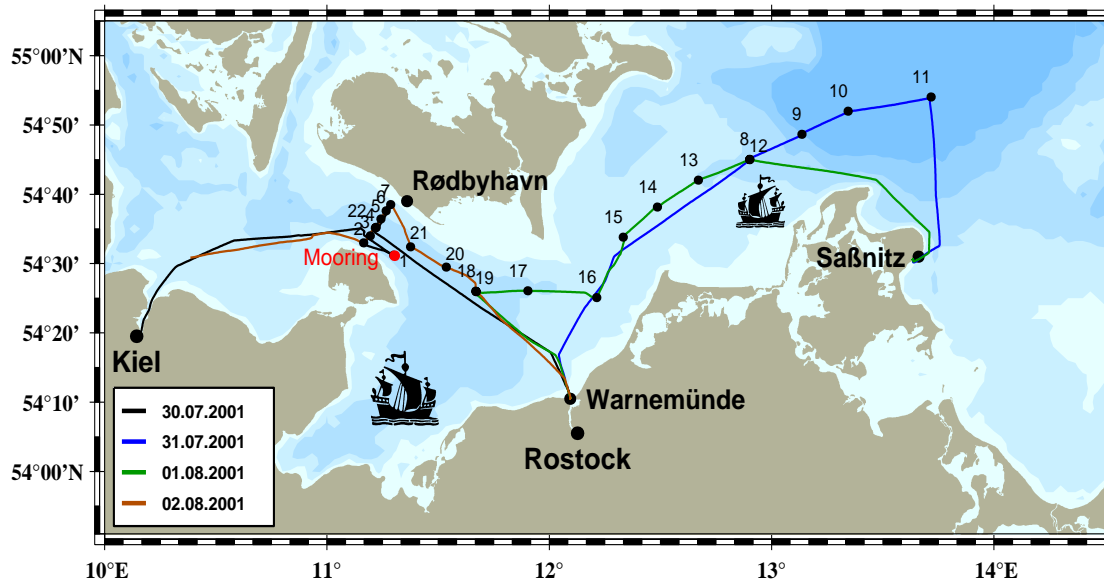


Abbildung 1.1: Fahrtroute

Tabelle 1.2: Gruppeneinteilung		
Gruppe 1	Einleitung und Übersicht, Auswertung Strommesser Verankerung	Marquardt, Mathias Mansor, Sandra
Gruppe 2	Meteorologie	Dix, Antonia Weiß, Monika Knauf, Indra
Gruppe 3	Gerätevergleich und Kalibrierung	Zimmerer, Markus Müller, Marius
Gruppe 4	CTD-Schnitte	Harders, Rieka Münn, Sebastian
Gruppe 5	Strömungsmessung mit dem ADCP	Schubert, Philipp Kunz, Uli Walter, Bettina

1.2 Tagesprotokolle

Auf der Fahrt wurden folgende Messungen durchgeführt.

- Meteorologie – M
 - Psychrometermessung (trockene und feuchte Lufttemperatur)
 - Messung der Wassertemperatur
 - Ermittlung der Wolkenbedeckung
 - Berechnung von Taupunkt und Luftfeuchte
- CTD-Sonde – C
 - Aufnahme von Profilen im Meereswasser: Druck, Temperatur, Leitfähigkeit, Sauerstoff, Fluoreszenz
 - Auslösen von Kippthermometern und Wasserschöpfern in verschiedenen Tiefen des Profils
- Rosette – R
 - Vorbereitung der CTD-ausgelösten Wasserschöpfer und Kippthermometer
 - Ablesen der Thermometer, Bestimmung des Salzgehaltes der Wasserproben
- ADCP – A
 - Aufnahme von Strömungsgeschwindigkeiten der Wassersäule
- Salinometer – S
 - Salinometrieren der Wasserproben

Die Beprobung an den Stationen wurde in einem festgelegten Meßzyklus von allen Teilnehmern durchgeführt (Tabelle 1.3).

Tabelle 1.3: Meßzyklus												
Station	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	...
Gruppe 1	C	R	M	A		C	R	M		S	C	...
Gruppe 2		C	R	M	A		C	R	M		S	...
Gruppe 3	A		C	R	M			C	R	M		...
Gruppe 4	M	A		C	R	M		S	C	R	M	...
Gruppe 5	R	M	A		C	R	M		S	C	R	...

1.2.1 Erster Tag, 30.07.2001

Wir sind mit 13 Praktikanten, 5 Betreuern und der Mannschaft um 6.00 Uhr mit Kurs auf Fehmarnbelt ausgelaufen. Zunächst erhielten wir eine allgemeine Einführung zum Arbeitsablauf und den Messungen. Um 10.30 Uhr erreichten wir Station 1. Dort wurde zunächst eine Verankerung eingeholt, welche zum Schutz vor Entwendung oder Beschädigung in einem militärischen Sperrgebiet auslag. An der Verankerung war ein RCM-4 Aanderaa-Strömungsmeßgerät, welches seit dem 18.2.2001 Daten aufzeichnete, befestigt. Anschließend wurde das erste CTD-Profil aufgenommen. Um 11.20 Uhr ließen wir eine Verankerung mit neuem Aanderaa an der Position $54^{\circ}31.24'$ nördliche Breite und $11^{\circ}17.93'$ östliche Länge auf 28 m Lottiefe zu Wasser. Diese wird bei der nächsten Auffahrt Ende September wieder geborgen. Danach führen wir einen CTD-Schnitt quer zur Topographieachse durch den Fehmarnbelt (Stationen 2 bis 7). Auf jeder Station wurden neben den CTD-Profilen meteorologische Daten erfaßt sowie ADCP-Profile gemessen (siehe Brückenprotokoll, Tabelle 1.4). Das Wetter war den gesamten Tag über sonnig bei zunehmendem Wind. Besondere Vorkommnisse: die Sauerstoffmessung der CTD sowie die relative Feuchtemessung der meteorologischen Anlage lieferten unzuverlässige Werte.

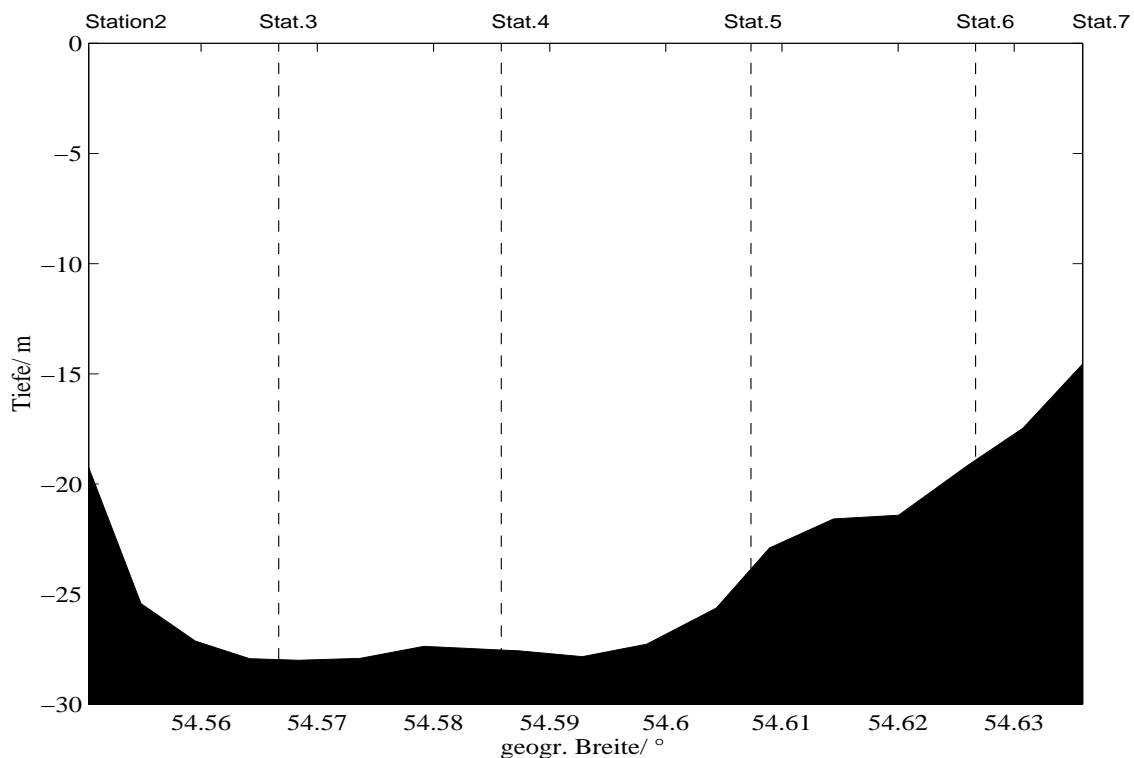


Abbildung 1.2: Stationen im Fehmarnbelt am 30.07.2001

Tabelle 1.4: Stationsliste nach Brückenprotokoll						
Datum	Station	Zeit (UTC)	geogr. Breite	geogr. Länge	Lottiefe	Geräte
30.07.01	01	10:42	54°31.26'N	11°17.96'E	28.0m	Verankerung an Deck
	01	10:50	54°31.20'N	11°17.85'E	27.4m	CTD, Wasserschöpfer
	01	11:20	54°31.24'N	11°17.93'E	28.0m	Verankerung zu Wasser
	02	12:00	54°33.00'N	11°09.80'E	18.7m	CTD, Wasserschöpfer
	03	12:31	54°34.00'N	11°11.50'E	28.9m	CTD, Wasserschöpfer
	04	13:00	54°35.20'N	11°12.90'E	27.9m	CTD, Wasserschöpfer
	05	13:33	54°36.50'N	11°14.50'E	24.6m	CTD, Wasserschöpfer
	06	14:04	54°37.60'N	11°15.80'E	19.7m	CTD, Wasserschöpfer
	07	14:28	54°38.50'N	11°17.10'E	13.5m	CTD, Wasserschöpfer

1.2.2 Zweiter Tag, 31.07.2001

Um 5.00 Uhr sind wir in Warnemünde ausgelaufen. Da eine Praktikantin am vorangegangenen Abend von Bord gegangen war, waren wir nur noch 12 Studenten. Um 9.14 Uhr erreichten wir Station 8, die erste an diesem Tag. Um 13.35 Uhr erreichten wir Station 11 und damit den östlichsten Punkt des Längsschnitts durch die westliche Ostsee auf dieser Fahrt (siehe Brückenprotokoll, Tabelle 1.5). Die Route führte über die Darßer Schwelle ins Arkonabecken, wobei wir im nördlichen Seegebiet vor Rügen gemessen haben. Als zusätzliche Aufgabe, wurde das Salinometrieren eingeführt, bei dem die am Vortag gewonnenen Proben aus den Wasserschöpfern ausgewertet wurden. Der Himmel war durchgehend bedeckt bei ruhiger See. Besondere Vorkommnisse: die CTD-Sonde zeigte schon an Deck einen erhöhten Druck von etwa 2bar, der in den Meßdaten entsprechend berücksichtigt werden muß. Die Daten der relativen Feuchte der Datadis-Anlage waren an diesem Tag und an den darauffolgenden Tagen für den Backbordsensor annehmbar. Der Steuerbordsensor war während der gesamten Ausfahrt defekt.

Tabelle 1.5: Stationsliste nach Brückenprotokoll						
Datum	Station	Zeit (UTC)	geogr. Breite	geogr. Länge	Lottiefe	Geräte
31.07.01	08	09:14	54°47.00'N	12°54.00'E	21.9m	CTD, Wasserschöpfer
	09	10:27	54°48.70'N	13°08.10'E	40.3m	CTD, Wasserschöpfer
	10	11:32	54°48.8'N	13°20.50'E	45.7m	CTD, Wasserschöpfer
	11	13:19	54°54.00'N	13°43.00'E	50.0m	CTD, Wasserschöpfer

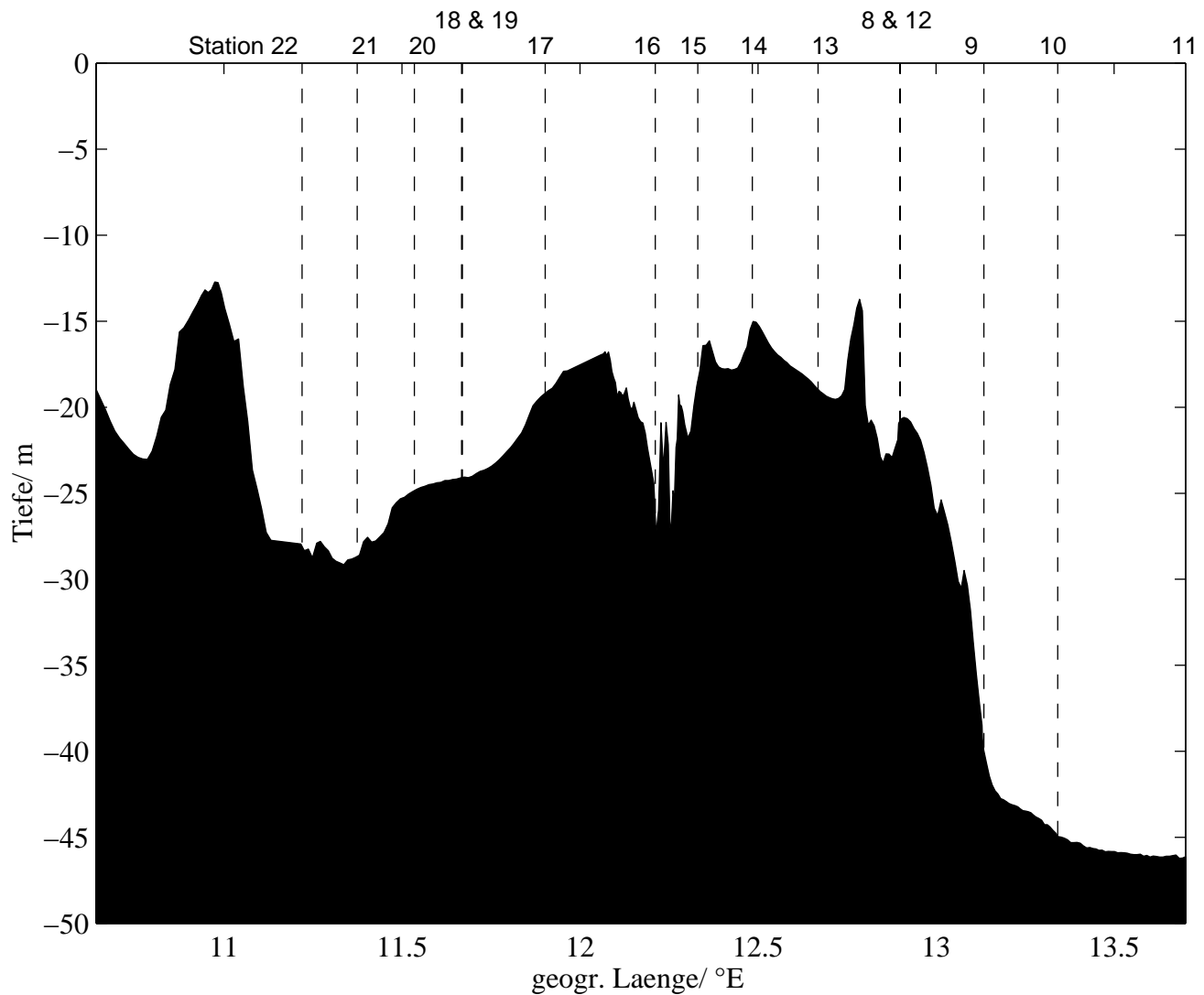


Abbildung 1.3: Stationen entlang der Topographieachse vom Fehmarnbelt ins Arkonabecken

1.2.3 Dritter Tag, 01.08.2001

Wie am Vortag liefen wir wieder um 5.00 Uhr aus. Unser Ziel war zunächst die Station 8, bei der wir erneut Meßdaten unter Station 12 aufgenommen haben, um an ihr anzuschließen. Die Route führte durch die Kadettrinne zur Mecklenburger Bucht, und endete mit Station 18 (Abb. 1.3, siehe auch Brückenprotokoll, Tabelle 1.6). Das Wetter war teils bedeckt, teils heiter. Besondere Vorkommnisse: Die Schöpfer-Wasserproben vom Vortag wurden bearbeitet, die frischgezapften Proben mußten sich erst auf Raumtemperatur des Thermosalinographen angleichen.

Tabelle 1.6: Stationsliste nach Brückenprotokoll

Datum	Station	Zeit (UTC)	geogr. Breite	geogr. Länge	Lottiefe	Geräte
01.08.01	12	80:54	54°45.00'N	12°54.00'E	22.2m	CTD, Wasserschöpfer
	13	10:01	54°42.00'N	12°40.10'E	22.0m	CTD, Wasserschöpfer
	14	11:00	54°38.00'N	12°29.00'E	18.2m	CTD, Wasserschöpfer
	15	11:58	54°33.08'N	12°19.09'E	20.9m	CTD, Wasserschöpfer
	16	13:15	54°25.00'N	12°12.50'E	20.6m	CTD, Wasserschöpfer
	17	14:45	54°26.10'N	11°54.10'E	21.4m	CTD, Wasserschöpfer
	18	15:50	54°26.00'N	11°40.20'E	24.5m	CTD, Wasserschöpfer
	18	16:60				Anfahrt Warnemünde

1.2.4 Vierter Tag, 02.08.2001

Um 5.00 Uhr sind wir in Warnemünde ausgelaufen. Heutige Stationen waren 19 bis 22, die an den gestrigen Schnitt anschloßen und in den Fehmarnbelt führten (Abb. 1.3). Zudem haben wir nochmals einen ADCP-Schnitt quer über den Fehmarnbelt aufgenommen. Das Wetter war sehr sonnig, der Himmel wenig bewölkt bei sehr wenig Wind. Besondere Vorkommnisse: Die Salinometerauswertungen wurden wieder aufgenommen, die Schöpfer der Rosette jedoch abgebaut, da weitere Proben nicht mehr vor Einlaufen in Kiel an Bord bearbeitet werden konnten.

Tabelle 1.6: Stationsliste nach Brückenprotokoll

Datum	Station	Zeit (UTC)	geogr. Breite	geogr. Länge	Lottiefe	Geräte
02.08.01	19	07:15	54°26.00'N	11°40.00'E	24.5m	CTD
	20	08:02	54°29.50'N	11°32.10'E	26.5m	CTD
	21	08:57	54°32.40'N	11°22.40'E	29.5m	CTD
		09:44	54°38.80'N	11°17.30'E	12.4m	ADCP-Anfang bei 10 Kn
	22	10:12	54°35.20'N	11°12.90'E	28.3m	CTD
		10:53	54°32.80'N	11°09.80'E	11.5m	Ende ADCP-Schnitt










Fehmarn Belt Verankerung, Auslegung am 30.07.2001				
depth	component	S/N	length	rope
0 m	8" Floats (1)		1 m	5.5mm nylon string
2 m	8" Floats (1)		5 m	5.5mm nylon string
7 m	8" Floats (1)		5 m	5.5mm nylon string
12 m	8" Floats (1)		5 m	5.5mm nylon string
18 m	8" Floats (1)		3 m	5.5mm nylon string
21 m	Floatation	 sfs	0.75 m	5.5mm stainless wire
		 sfs		
23 m	RCM-4 Ser.#3869	 sfs	2 m	5.5mm stainless wire
	Anchor 100 kg			
28 m				

Abbildung 1.4: Am 30.07.2001 im Fehmarnbelt ausgelegte Verankerung

Am ersten Tag unserer Ausfahrt holten wir die seit Februar im Fehmarnbelt befindliche Verankerung hoch, um ihre Daten auszulesen, bevor eine neue Verankerung ausgesetzt. Der Hauptbestandteil beider Verankerungen ist der Strömungsmesser, welcher in regelmäßigen Intervallen die Strömungsrichtung und -geschwindigkeit, sowie die Temperatur und den Salzgehalt auf einem Magnetband aufzeichnet. Die neue Verankerung wurde am 30.07.2001 um 11.20 Uhr an Station 1 ausgelegt. Das Gerät liegt in etwa 25 m Tiefe in der Wassersäule,

die Lottiefe beträgt 28 m (Abb. 1.4). Es wird der bodennahe Strom im Fehmarnbelt gemessen.

Die ausgelesenen Daten haben wir in Diagrammen ausgewertet (Abb. 1.5). Die u-Komponente der Strömung ist überwiegend ostwärts gerichtet, folgt der Topographieachse und reicht im Mittel bis zu 25 cm/s. Damit ist sie stärker als die quer zum Fehmarnbelt verlaufende v-Komponente der Strömung, die im Mittel überwiegend südlich gerichtet ist und bis zu 10 cm/s erreicht. Somit ist die Hauptströmung südostwärts gerichtet. Die Temperaturkurve ist im Mittel ansteigend durch den Jahreszeitenwechsel. Der Salzgehalt ist ebenfalls im Mittel ansteigend. Im Winter wird der gesamte Wasserkörper durch starke Winde gut durchmischt, so daß auch frisches, leichteres Ostseewasser in tiefere Schichten kommt, welches sich in den Daten als Salzgehaltminimum niederschlägt. Im Sommer entsteht durch abnehmende Winde eine stabile Schichtung, bei der schweres salzreiches Nordseewasser unter leichterem salzarmen Ostseewasser liegt. Deshalb weisen die Daten der Verankerung zum Sommer hin einen höheren Salzgehalt auf. Der Druck lag während der gesamten Auslegeperiode konstant bei 25 dbar.

1.4 Oberflächensalzgehalt und -temperatur

Während der Fahrt wurden vom Thermosalinographen, der am Schiffsboden installiert ist und über eine Pumpe aus 2 m Tiefe Wasser ansaugt, kontinuierlich Temperatur (Abb. 1.6) sowie Salzgehalt (Abb. 1.7) gemessen und mit der Datadisanlage aufgezeichnet. Die Daten während der Hafenaufenthalte sind gesondert zu betrachten, da hier zusätzlich andere Faktoren eine Rolle spielen. Der Salzgehalt schwankt zwischen 7.0 und 13.5. Die Temperaturwerte befinden sich zwischen 17°C und 22°C.

1.5 Meteorologische Verhältnisse

Die Daten in Tabelle 1.5 sind jeweils zu Stationsbeginn mit der Datadis-Anlage aufgenommen worden.

Die Meßdaten der Lufttemperatur, der relativen Feuchte, der Windgeschwindigkeit und -richtung sind die die Steuerbordwerte. Die Daten vom 30.07.2001 der relativen Feuchte der Datadis-Anlage sind nicht zuverlässig, deshalb haben wir ab Station 8 die Backbordwerte verwendet.

Tabelle 1.5: Meteorologische Daten der Stationen

Datum	Station	Luftdruck [hPa]	Lufttemp. [°C]	rel. Feuchte [%]	Windgeschw. [m/s]	Windrichtung [°]
30.07.01	01	1017.7	21.7	99	11.4	333
	02	1017.9	21.0	100	12.5	0
	03	1017.9	20.6	/	11.6	7
	04	1018.2	21.1	100	10.8	358
	05	1018.2	21.1	98	13.8	355
	06	1018.3	20.8	101	14.1	358
	07	1018.2	20.6	100	12.6	355
	08	1019.5	15.6	83	5.6	2
	09	1019.1	16.5	71	8	0
	10	1018.6	16.9	76	8.6	353
	11	1018.0	16.8	83	9	5
	12	1020.8	16.4	62	8.4	12
	13	1021.5	16.9	65	8.4	19
	14	1021.8	17.3	53	9.8	12
	15	1021.7	17.5	68	8.8	88
	16	1022.0	17.4	57	10.5	14
	17	1022.1	17.7	59	10.8	0
	18	1021.7	18.1	55	10.5	9
	19	1021.7	17.0	72	0	285
	20	1021.4	15.9	69	1.7	137
	21	1021.0	16.3	62	0.9	302
	22	1020.2	16.5	64	4.3	114

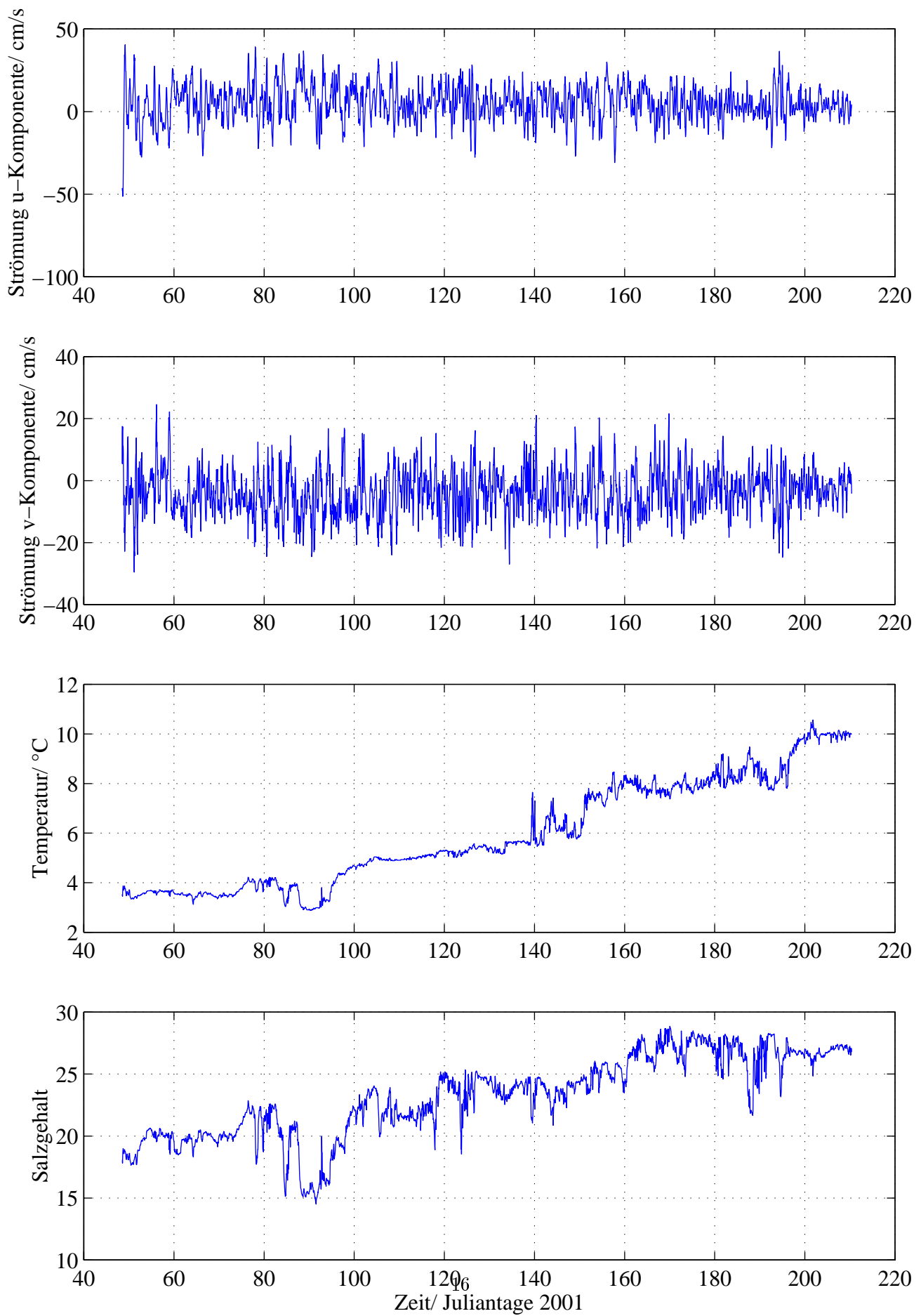


Abbildung 1.5: Aanderaa Strommesserzeitreihen

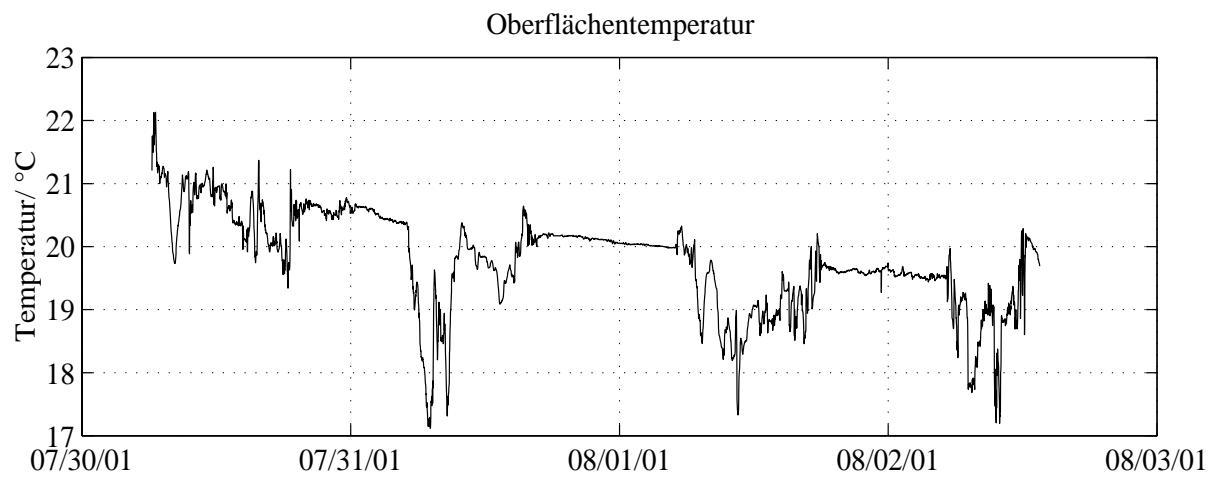


Abbildung 1.6: *Oberflächentemperatur*

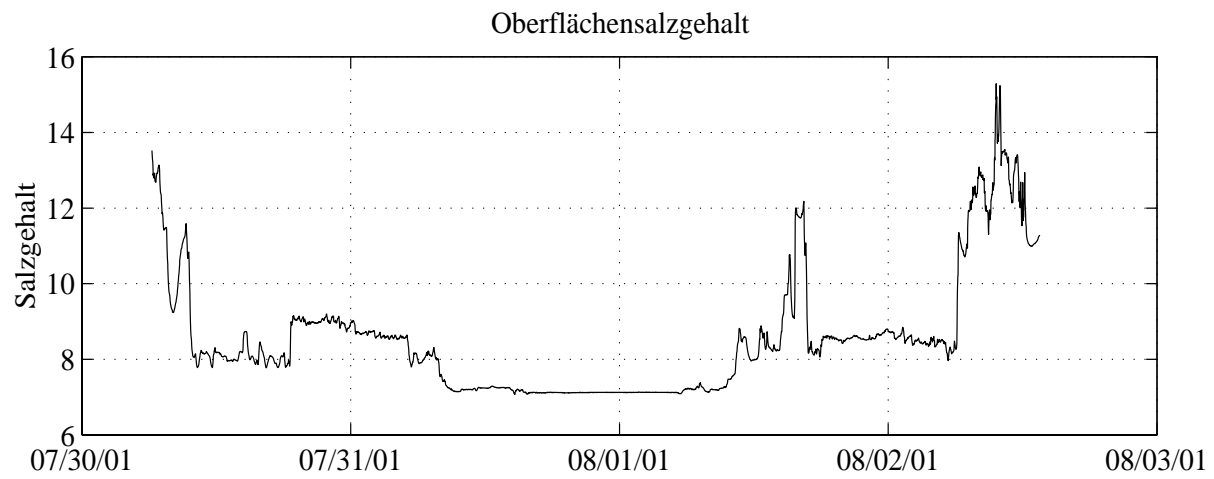


Abbildung 1.7: *Oberflächensalzgehalt*

2 Meteorologie

2.1 Einleitung

Bis hier 25.04.2006

Auf der gesamten Ausfahrt der ALKOR vom 30.07.01 bis zum 02.08.01 wurden verschiedene meteorologischen Daten mit Hilfe der Datadis-Anlage aufgezeichnet. Auf jeder Station wurden zusätzlich Feucht- und Trockentemperatur manuell mit dem Psychrometer bestimmt. Anhand dieser Daten wurde die relative Feuchte errechnet. Die auf der Ausfahrt gemessenen bzw. errechneten Parameter sind:

- wahrer Wind
- relative Feuchte
- Lufttemperatur
- Wassertemperatur
- kurz- und langwellige Strahlung

2.2 Darstellung der meteorologischen Größen der Ausfahrt

2.2.1 Wind

In der Auswertung ist die Windgeschwindigkeit (Abb. 2.1) bereits um die Schiffsgeschwindigkeit korrigiert. Während der Praktikumsfahrt traten Windgeschwindigkeiten im Bereich von 1 bis 15 m s^{-1} auf.

Am 30.07. stieg die Geschwindigkeit bis zum Mittag stetig bis auf 15 m s^{-1} an und blieb bis

zum Einlaufen in den Warnemünder Hafen in beschriebener Höhe. Nachts lag sie dann bei 4 bis 8 m s^{-1} . Am folgenden Tag erreichte der Wind Geschwindigkeiten bis zu 10 m s^{-1} am Nachmittag mit leichten Einbrüchen am Vormittag. Östlich von Rügen, also leerwärts der Insel, und im Hafen von Sassnitz fiel die Windgeschwindigkeit auf unter 2 m s^{-1} . Während des 01.08. lagen die Geschwindigkeiten zwischen 8 und 12 m s^{-1} . Sie stieg morgens als wir aus dem Windschatten der Insel heraus waren (ca. 9 Uhr). Zum Abend hin und Richtung Warnemünde flaute die Geschwindigkeit kontinuierlich bis auf 7 m s^{-1} ab und lag in der Nacht auf den 02.08. bei 6 m s^{-1} . Am Morgen des letzten Tages hatten wir sehr schwachen Wind der zum Mittag hin aber bis auf 8 m s^{-1} anstieg.

In Abb. 2.2 und 2.3 sind die Windrichtungen und deren Änderungen aufgezeigt. Sie weisen auf, dass der Wind während der Ausfahrt hauptsächlich aus westlicher Richtung kam. Am Abend des 31.07. kamen die Winde aus südwestlicher Richtung. In der Nacht zum 02.08. drehte der Wind und kam aus nördlicher Richtung. Tagsüber kam es zu einem starken Windrichtungswechsel während der Messperiode. In Abb. 2.3 wird besonders deutlich, dass die vorherrschende Windrichtung ungefähr bei 280° , also Nordwest war.

2.2.2 Luftdruck

Der Luftdruck ist in Abb. 2.2 dargestellt.

2.2.3 Feuchte

Die relative Feuchte wird durch die Differenz zwischen der Trocken- und Feuchttemperatur bestimmt. Sie gibt an, wie groß der augenblickliche Anteil des Wasserdampfes in der Luft zum Sättigungswert, also dem bei der gegebenen Temperatur maximal möglichen Wert, ist. In Abb. 2.5 ist die relative Feuchte dargestellt. Während des ersten Tages gab es noch keine Sensorenwerte, allerdings sind die mit dem Psychrometer gewonnenen Daten als rote Kreuze zu erkennen. Nach diesen Werten hatten wir am ersten Tag eine mittlere Feuchte von 70-80%. Am darauffolgendem Tag lag die relative Feuchte ebenfalls im Mittel bei 70-80%. In der Nacht fand durch Abkühlung der Luft ein Anstieg der relativen Feuchte auf ca. 94% statt und sank am Tage wieder auf 60% ab. Gegen Abend kam es dann wieder zu einem leichten Anstieg auf bis zu 70%. Am letzten Tag lag die relative Feuchte wieder im Mittel bei 60-70%.

Die mit dem Psychrometer gemessenen Werte liegen, ausser am Mittag des 31.07., teilweise höher als die Sensorenwerte. Dies ist zurückzuführen auf das falsche Ablesen des Gerätes.

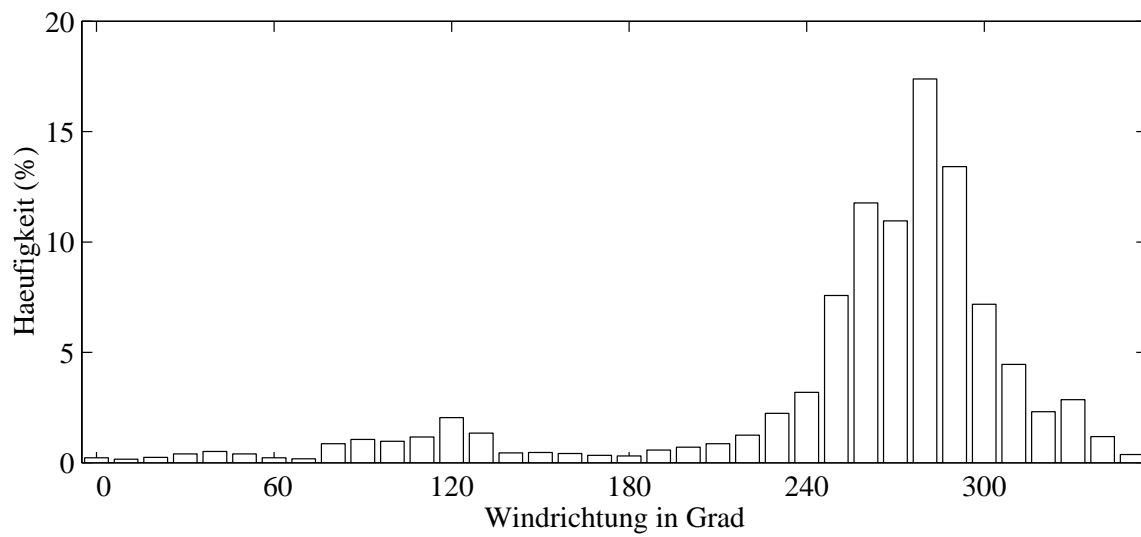
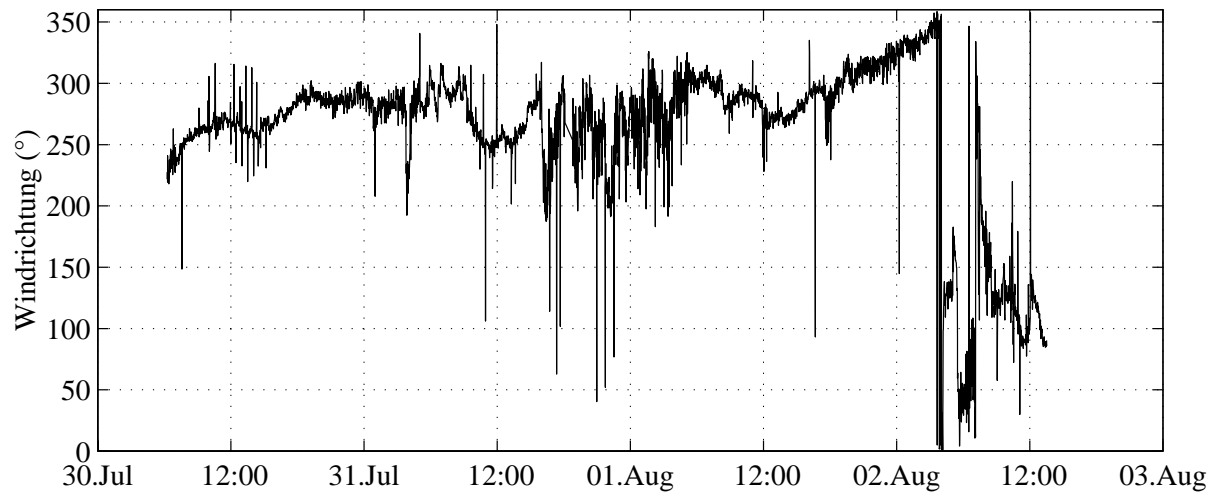
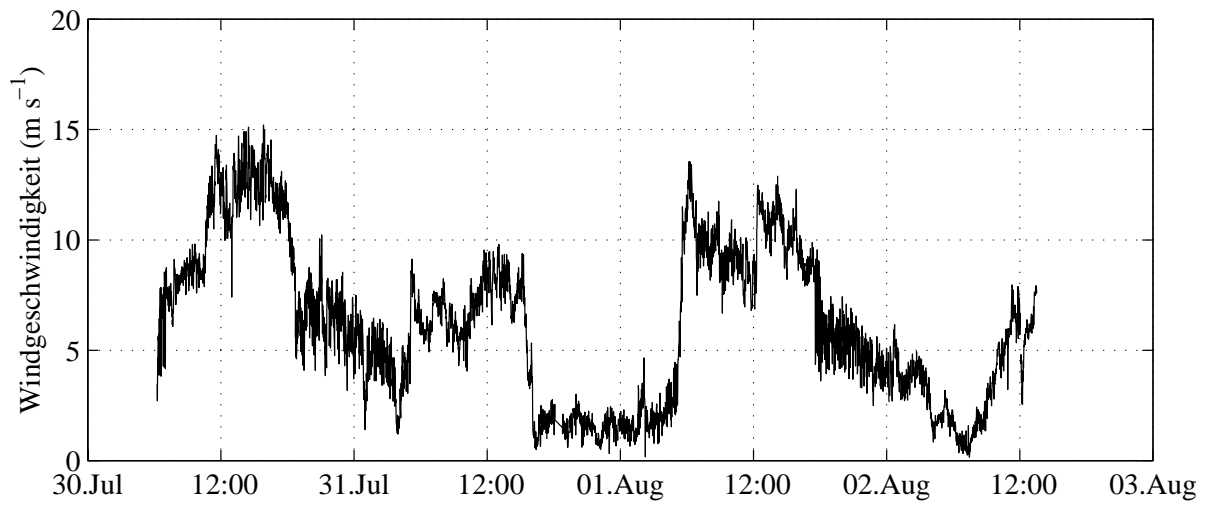


Abbildung 2.1: *Wind*

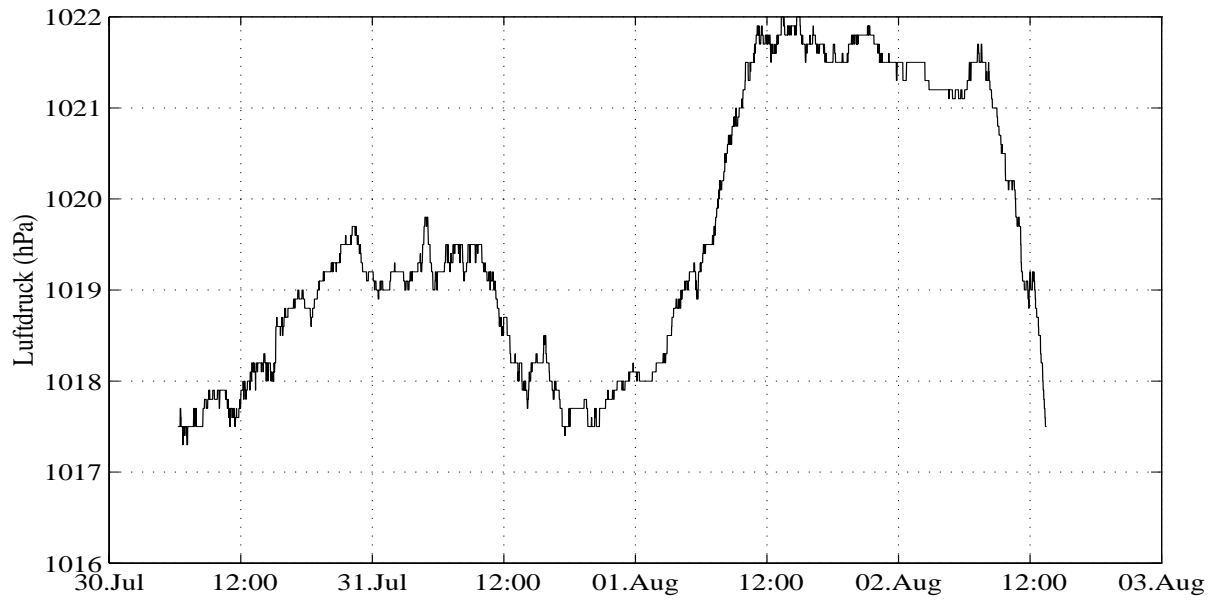


Abbildung 2.2: *Luftdruck*

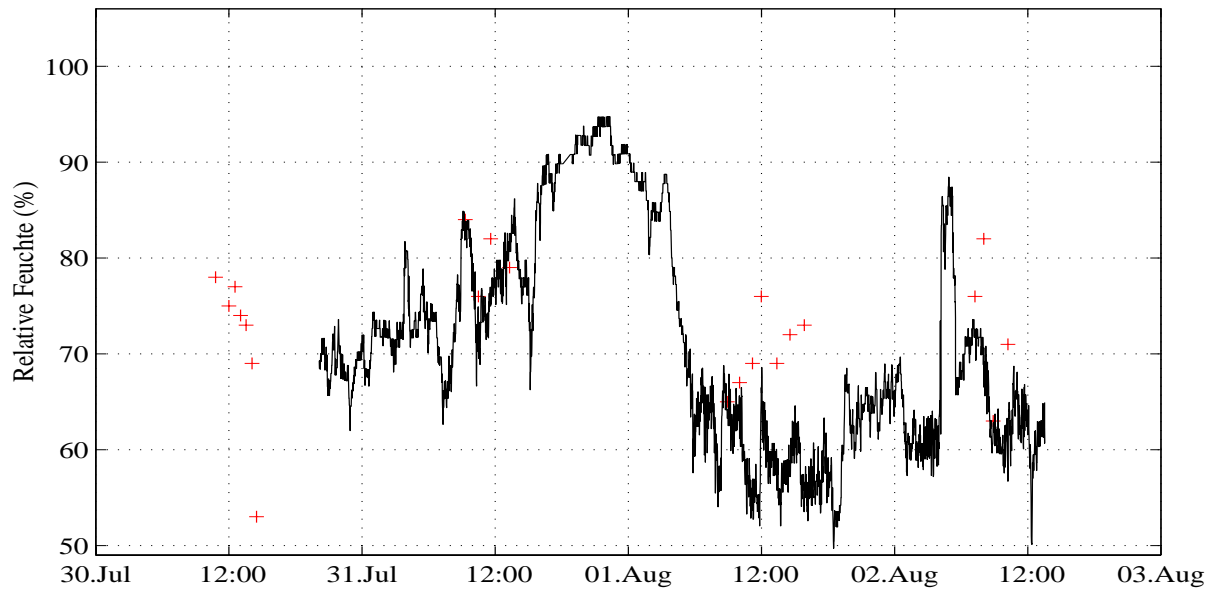


Abbildung 2.3: *relative Luftfeuchte*

2.2.4 Temperatur

In Abb. 2.6. sind die Messwerte der Trocken- und Feuchttemperatur der Backbordseite aufgeführt. Die Feuchttemperatur liegt immer unterhalb der Trockentemperatur, jedoch unterliegt die Differenz gewissen Schwankungen. Es wurden nur die Daten der backbordseitigen Sensoren verwendet, da die steuerbordseitigen Sensoren keine zuverlässigen Daten geliefert haben.

Die Graphiken weisen einen gewissen Tagesgang in der Temperatur auf. Während der Ausfahrt lag die Trockentemperatur tagsüber bei 15-17°C. In der Nacht fiel sie auf 14-16°C. Allerdings fiel die Temp. in der Nacht zum 02.08. erst in den frühen Morgenstunden auf bis zu 14°C und stieg dann gegen Mittag stetig auf bis zu 17,5°C an.

2.2.5 Strahlung

Die Strahlungsgänge werden auf der ALKOR mit zwei Sensoren gemessen. Es wird die langwellige und kurzwellige Strahlung verwendet. Der erste Sensor registriert die kurzwellige solare Strahlung; sie setzt sich aus der direkten und diffusen Strahlung zusammen. Die diffuse Strahlung kommt vorwiegend durch die Raleigh-Streuung an Luftmolekülen zustande.

Mit dem zweiten Sensor wurde die langwellige terrestrische Strahlung gemessen. Diese gibt die Temperaturstrahlung der Erdoberfläche und der Atmosphäre mit allen ihren suspendierten Partikeln an. Im Gegensatz zur kurzwelligen Strahlung verläuft die Langwellige nicht mit dem Tagesgang und ist im allgemeinen geringeren Schwankungen unterlegen.

In Abb. 2.5. zeigt den Tagesgang der kurzwelligen Strahlung. Hier ist zu erkennen, dass die Strahlungsintensität dem Sonnenstand folgt; sie nimmt bis Mittags zu, erreicht hier ihr Maximum (am 31.07. sehr hoch mit 1000 Wm²) und nimmt zum Abend hin wieder ab. Die Einbrüche im Laufe des Tages sind auf starke Bewölkung zurückzuführen.

2.2.6 Wärmeflüsse

Abb. 2.9a. zeigt den latenten Wärmefluss während der Ausfahrt. Der latente Wärmefluss beschreibt die Energie, die bei der Verdunstung von Meerwasser verbraucht wird und bei Kondensation frei wird. Im Gegensatz dazu beschreibt der sensible Wärmefluss die Wärme, die als kinetische Energie der Moleküle, durch Stoßbewegungen zwischen den Molekülen

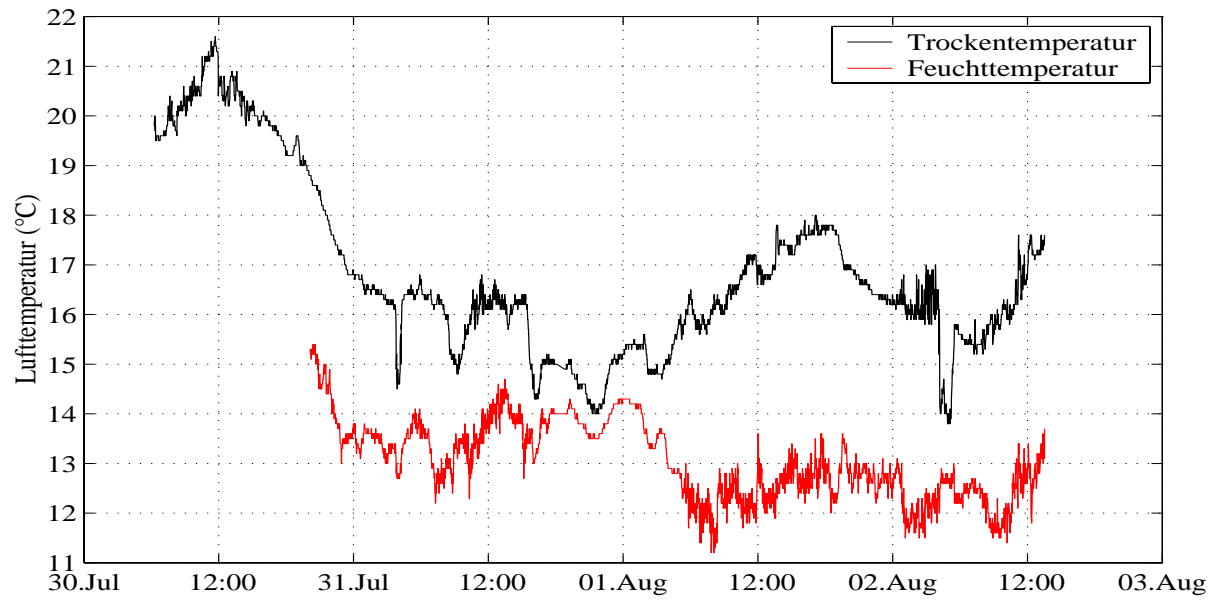


Abbildung 2.4: Lufttemperatur (Backbordseite)

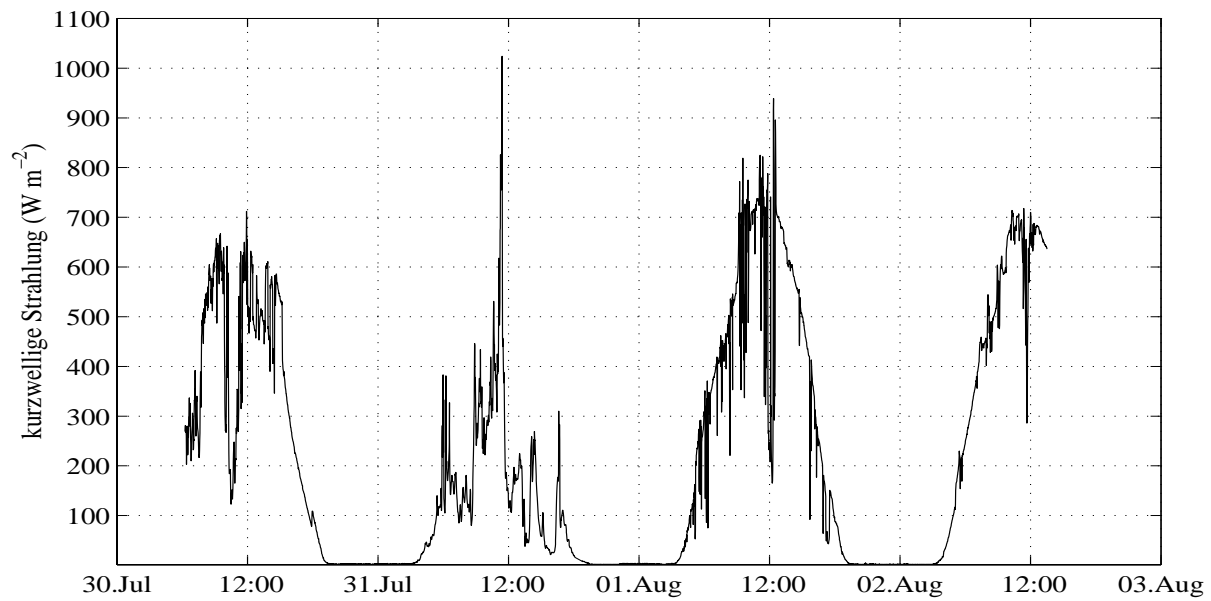


Abbildung 2.5: kurzwellige Strahlung

in der Atmosphäre oder auch im Übergang zwischen Wasser und Luft weitergegeben wird. Der Nettowärmefluss ist die Summe aus sensiblem und latentem Wärmefluss. Auch hier wird deutlich, dass der Ostsee Energie durch die Atmosphäre entzogen wird (d.h. der latente Wärmefluss war während der gesamten Fahrtzeit negativ). Vergleicht man die Kurven von latentem Wärmefluss und der Windgeschwindigkeit, ist zu erkennen, dass sie einen sich entsprechenden Verlauf aufzeigen. An den Stellen, an denen der Wärmefluss besonders hohe, negative Werte aufweist war die Windgeschwindigkeit sehr hoch. So z.B. am 01.08. Daraus folgt dass die Verdunstung mit zunehmendem Wind steigt.

Abb. 2.9b. zeigt den sensiblen Wärmefluss. Auch dieser war die gesamte Zeit der Fahrt negativ, dies bedeutet einen Energieverlust. Der Wärmefluss lag bei 0 bis -100 Wm^{-2} . Er ist ebenfalls abhängig von der Windgeschwindigkeit, was am 01.08. deutlich wird. Weiterhin verhält sich der Wärmefluss dem Jahresgang entsprechend. Ein negativer Wärmefluss ist im Sommer zu erwarten, da die Lufttemperaturen über den Wassertemperaturen liegen.

Alle Messungen bezüglich des Wärmeflusses beginnen erst am zweiten Tag der Ausfahrt, da vorher keine brauchbaren Werte geliefert worden sind.

2.3 Einbettung in die grössere Wetterlage und Winde der vorhergehenden Tage

Die Abbildungen 2.8, 2.9, 2.10 und 2.11 zeigen Wetterkarten vom Zeitraum der Ausfahrt.

2.4 Diskussion der meteorologischen Verhältnisse und deren Einfluss auf die ozeanographischen Messungen

Meteorologische Verhältnisse üben häufig grossen Einfluss auf ozeanographische Messungen aus. Winde haben zB. Einwirkung auf den Durchmischungsgrad des Oberflächenwassers. Die Windrichtung beeinflusst somit auch die Richtung der Oberflächenströmung (während des Praktikums waren die westlichen Winde die Dominanten). Während des Praktikums hatten wir durch Wind teilweise sehr homogene Deckschichten. Ausserdem hat die Bewölkung und die damit verbundene solare Einstrahlung Einfluß auf die ozeanischen Verhältnisse.

Die Windstärke hat ebenfalls Einfluss auf den latenten und sensiblen Wärmefluss zwischen

Ozean und Atmosphäre. Diese Flüsse nehmen mit der Windgeschwindigkeit zu. Der Nettofluss hat Einfluss auf die Wassertemperatur.

2.5 Erklärung, welche Sensoren benutzt bzw. wie sie korrigiert oder durch theoretischen Daten ersetzt wurden.

2.5.1 Wind

Die verschiedenen Sensoren zur Messung meteorologischer Daten befinden sich am Mast auf der Backbord- und der Steuerbordseite. Auf der Alkor gibt es jeweils an Backbord und an Steuerbord Schalenkreuzanemometer mit denen die Windgeschwindigkeit , und Windfahnen mit denen die Windrichtung bestimmt werden. Die Sensoren auf der Luvseite liefern meistens die verlässlicheren Daten. Man sollte diesen Sachverhalt berücksichtigen bei Auswertungen.

2.5.2 Temperatur

Die Feucht- und Trockentemperatur werden mit PT 100 Widerstandsthermometern gemessen. Das Feuchtthermometer wird über einen Strumpf ständig befeuchtet.

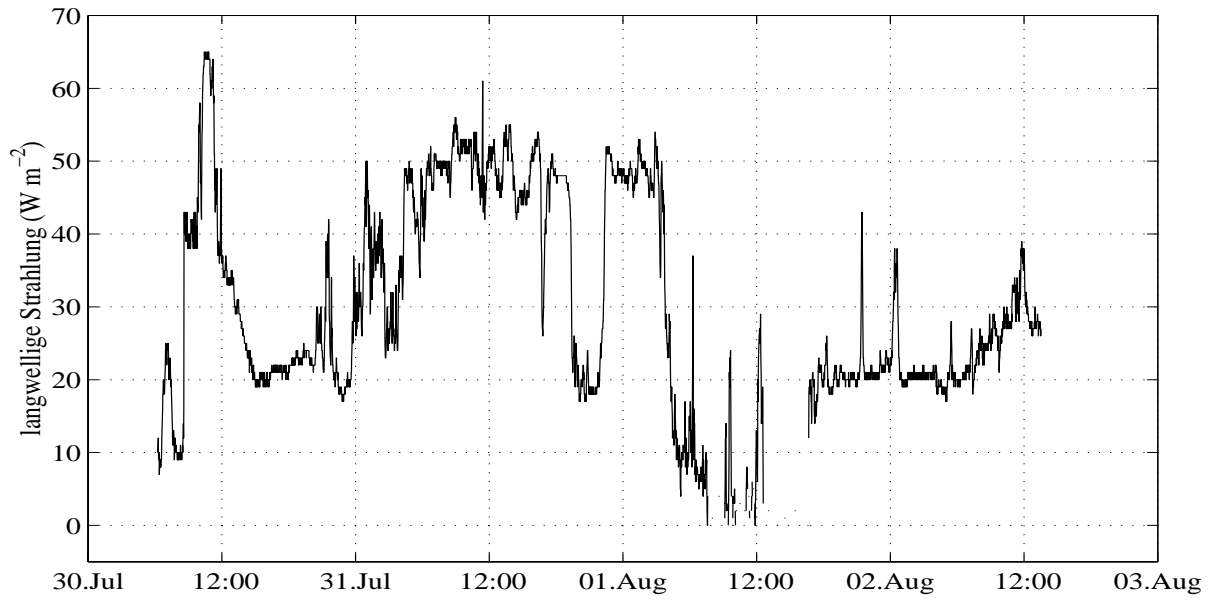


Abbildung 2.6: langwellige Ausstrahlung

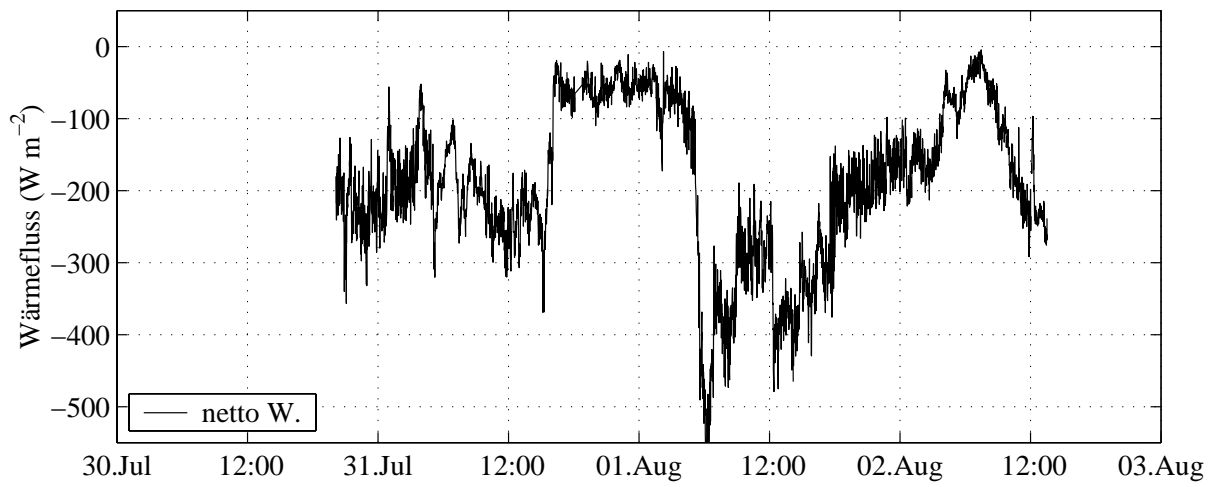
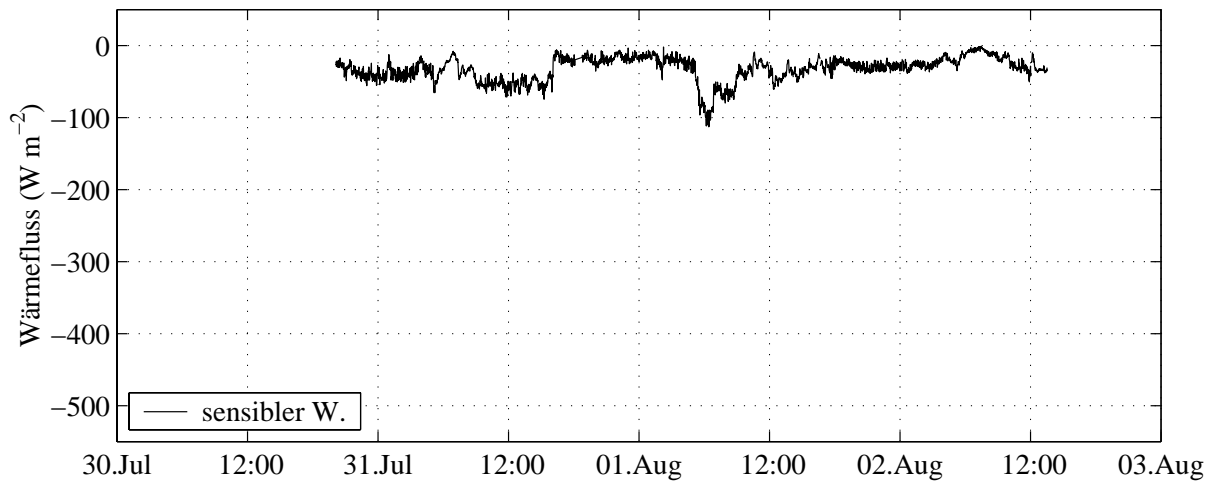
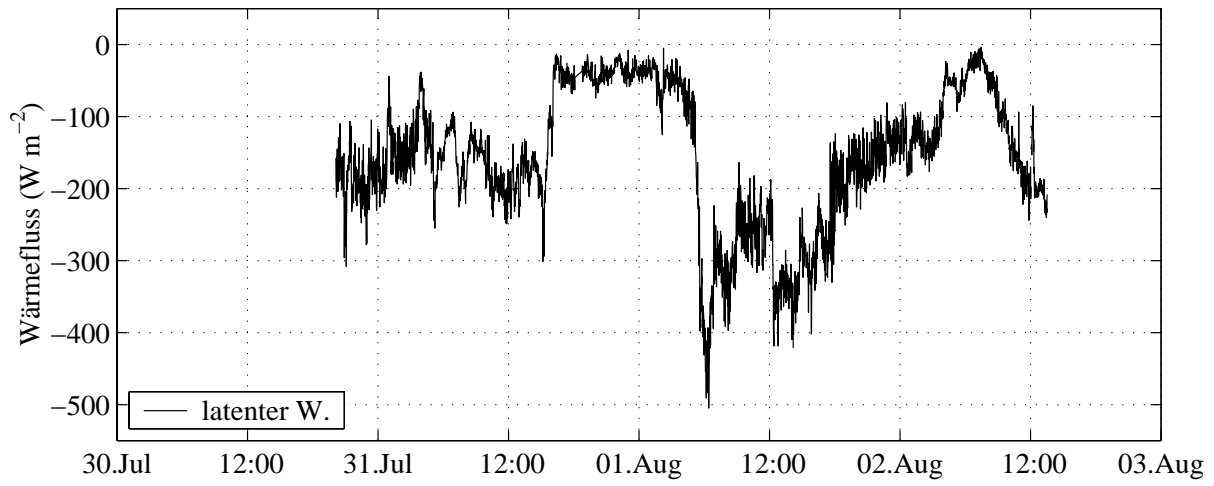


Abbildung 2.7: Wärmeflüsse

Comes to you via Top Karten (<http://www.wetterzentrale.de/topkarten/>)
Source (TIFF-Files): <ftp://weather.noaa.gov>

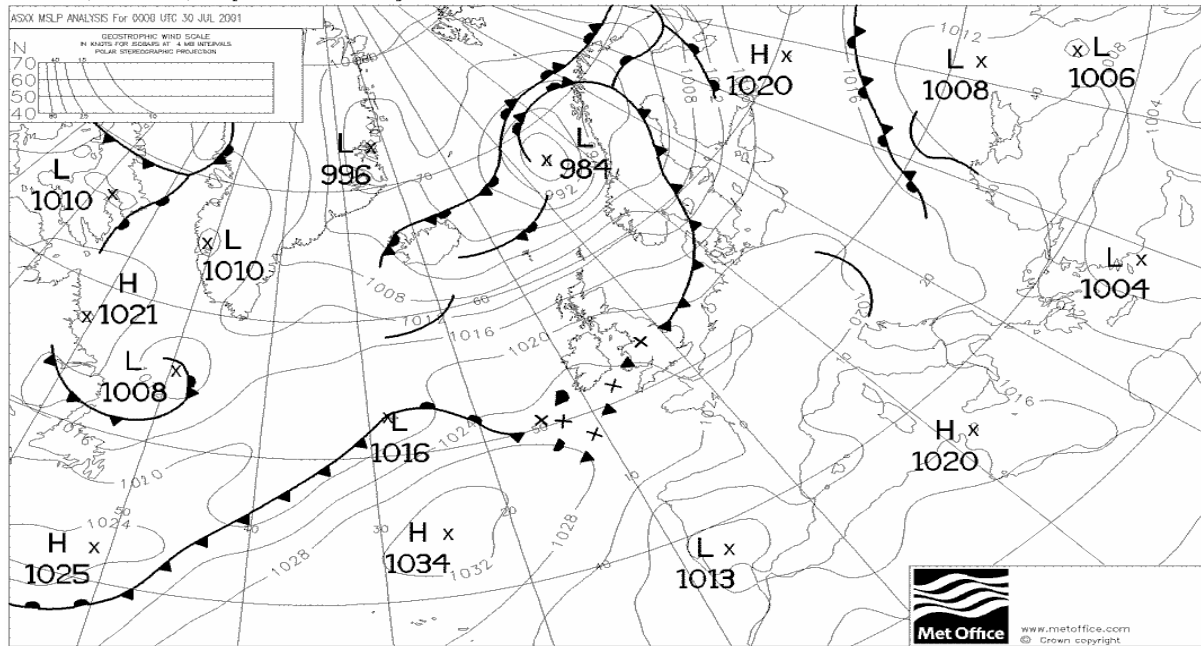


Abbildung 2.8: Bodenwetterkarte vom 30.07.2001

Comes to you via Top Karten (<http://www.wetterzentrale.de/topkarten/>)
Source (TIFF-Files): <ftp://weather.noaa.gov>

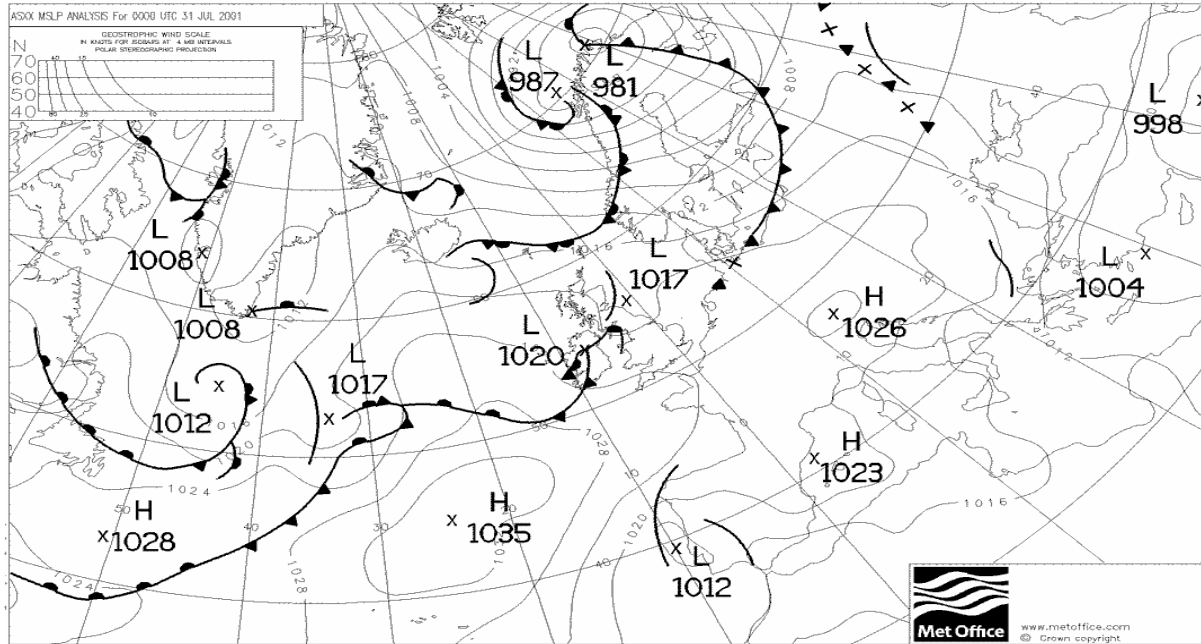


Abbildung 2.9: Bodenwetterkarte vom 31.07.2001

Comes to you via Top Karten (<http://www.wetterzentrale.de/topkarten/>)
Source (TIFF-Files): <ftp://weather.noaa.gov>

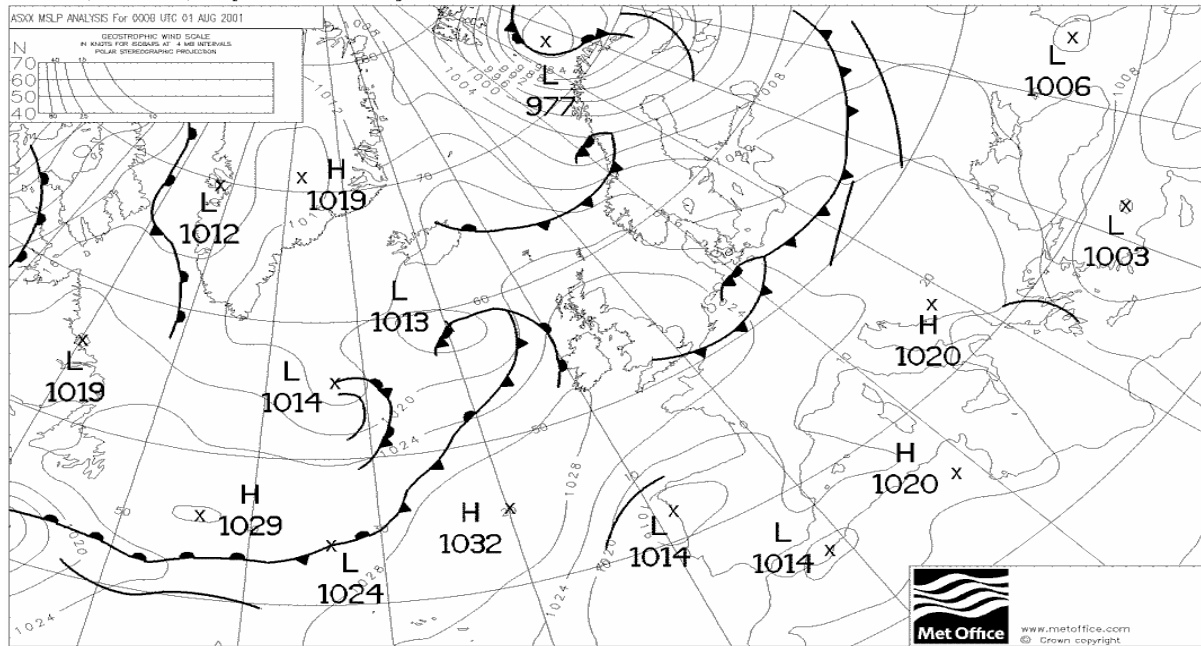


Abbildung 2.10: *Bodenwetterkarte vom 01.08.2001*

Comes to you via Top Karten (<http://www.wetterzentrale.de/topkarten/>)
Source (TIFF-Files): <ftp://weather.noaa.gov>

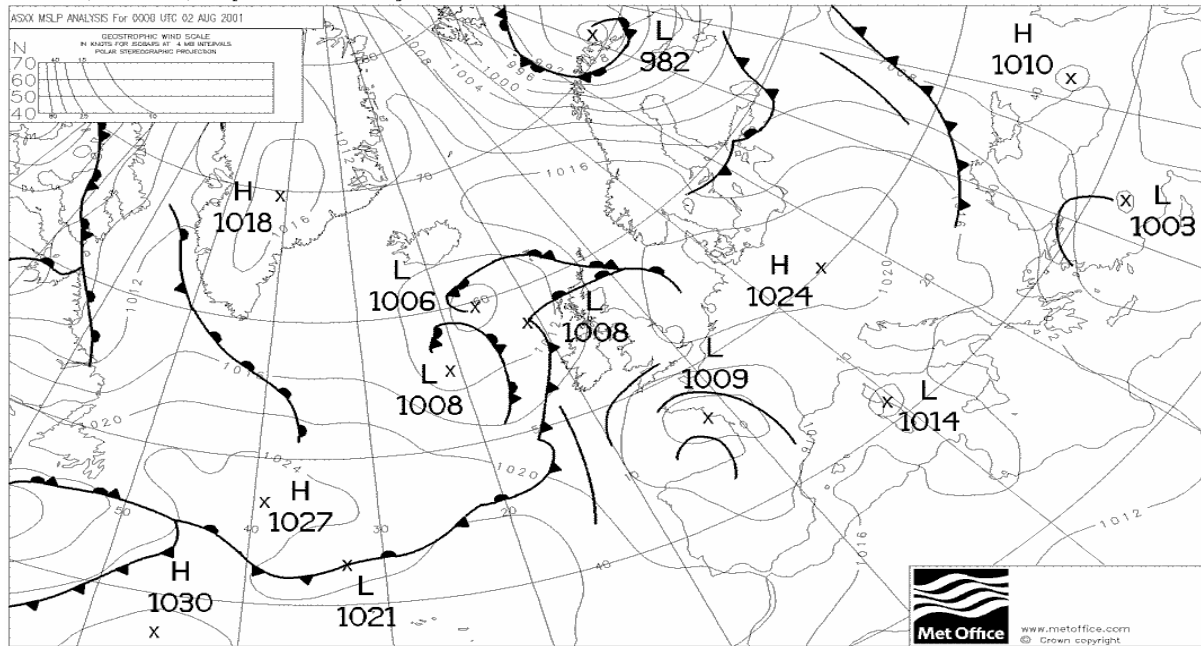


Abbildung 2.11: *Bodenwetterkarte vom 02.08.2001*

3 Gerätevergleich und Kalibrierung

3.1 Geräte im Vergleich

3.1.1 Methoden zur Temperaturmessung

Zur Messung der Temperatur wurden folgende Geräte verwendet:

Kippthermometer:

An den Wasserschöpfern waren sowohl elektrische SIS-Thermometer, als auch Quecksilberthermometer der Firma Gohla-Precision befestigt. Bei Auslösen der Schöpfer erfolgte die Temperaturmessung. Die SIS-Thermometer hatten einen Korrekturfaktor von 0.003°C bis 0.004°C (Ser#191) bzw. 0.014°C bis 0.015°C (Ser#990). Bei den Hg-Thermometern muß zwischen geschützten und ungeschützten Geräten unterschieden werden. Die geschützten Thermometer hatten einen Korrekturfaktor von 0.02°C bis 0.045°C (Ser#4934) bzw. 0.03°C bis 0.055°C (Ser#4930). Der Korrekturwert des ungeschützten Gerätes lag bei 0.065°C bis 0.08°C (Ser#4946) bzw. 0.04°C bis 0.055°C (Ser#4375).

CTD:

Die CTD-Sonde mißt beim Fieren bzw. Hieven kontinuierlich Temperatur, Druck und Leitfähigkeit des Wassers. Daraus wird der Salzgehalt berechnet. Zusätzlich wird der Sauerstoffgehalt und die Fluoreszenz gemessen. Der Temperatursensor ist ein Pt100-Platinwiderstand ($100\ \Omega$ bei 0°C). Die Meßgenauigkeit beträgt $\pm 0.01^{\circ}\text{C}$, die Zeitkonstante liegt bei 160 ms.

Thermosalinograph (TSG):

Der TSG ist ein im Schiffsrumpf eingebautes Gerät, das während der Fahrt Salzgehalt und Temperatur des Wassers mißt. Die Ansaugöffnung liegt 2 m unterhalb der Wasserlinie. Auch

hier wird ein Pt100-Widerstand mit einer Meßgenauigkeit von $\pm 0.01^\circ \text{C}$ benutzt.

Pütz:

Mit Hilfe einer Pütz wurden an der Oberfläche Proben entnommen. Die Temperaturmessung erfolgte manuell mit einem Quecksilberthermometer. Die Messungen sind wegen Ablesefehlern und Erwärmung des Wassers direkt an der Oberfläche durch Sonneneinstrahlung ungenauer als die der technischen Meßgeräte. Die Meßgenauigkeit beträgt $\pm 0.1^\circ \text{C}$.

Tabelle 3.1: Gemessene Temperaturen ($^\circ \text{C}$)							
Station	CTD (Tiefe 1)	KT 1	CTD (Tiefe 3)	KT 2	CTD (2m)	TSG	Pütz
1	10.3670	10.353	21.1310	21.110	20.9350	20.9938	20.95
2	17.3980	17.415	20.9460	20.900	20.8490	20.9162	20.8
3	10.0000	9.990	20.8160	20.790	20.9660	20.9103	20.9
4	9.7300	9.781	20.6340	20.600	20.5800	20.6192	20.5
5	9.5020	9.463	20.3710	20.340	20.3960	20.3803	20.4
6	20.0300	20.470	20.3820	20.350	20.3170	20.3576	20.4
7	20.0610	20.280	20.0760	20.050	20.1010	20.1065	20.1
8	19.3560	19.298	19.7860	—	19.8787	19.8338	18.0
9	17.0140	17.343	19.9520	19.933	19.9460	19.9574	19.9
10	19.8090	19.783	19.8320	—	19.8220	19.8372	19.8
11	8.9080	8.824	19.1610	19.143	19.0800	19.1104	19.05
12	18.3790	18.420	18.3760	18.425	18.5720	18.5139	18.5
13	14.3610	14.544	18.2450	—	18.2040	18.2233	18.2
14	18.4200	18.430	18.4660	18.445	18.3510	18.4254	18.3
15	14.0040	14.222	19.0450	19.020	19.0570	19.0615	18.8
16	18.7760	18.768	18.7910	18.763	18.8060	18.8245	18.7
17	19.2580	19.261	19.2820	19.263	19.2840	19.2989	19.2
18	8.6650	8.857	19.3230	19.297	18.9730	19.1605	18.8
19	—	—	—	—	18.0620	17.7987	18.2
20	—	—	—	—	18.4230	18.4632	18.7
21	—	—	—	—	18.8900	17.8171	19.6
22	—	—	—	—	18.7260	18.8144	19.0

Die Temperaturdifferenzen werden aus folgenden Meßwerten berechnet:

- Temperatur CTD-Sonde (Schöpfertiefe) - Temperatur Kippthermometer
- Temperatur CTD-Sonde (2m) - Temperatur Thermosalinograph

- Temperatur CTD-Sonde (2m) - Temperatur Pütz
- Temperatur Thermosalinograph - Temperatur Pütz

Tabelle 3.2: Temperaturdifferenzen (°C)					
Station	CTD-K1	CTD-K2	CTD(2m)-TSG	CTD(2m)-Pütz	TSG-Pütz
1	0.0140	0.0210	-0.0588	-0.0150	0.0438
2	-0.0170	—	-0.0672	0.0490	0.1162
3	0.0100	0.0260	0.0557	0.0660	0.0103
4	-0.0510	0.0340	-0.0392	0.0800	0.1192
5	0.0390	0.0310	0.0157	-0.0040	-0.0197
6	—	0.0320	-0.0406	-0.0830	-0.0424
7	-0.2190	0.0260	-0.0055	0.0010	0.0065
8	0.0580	—	0.0448	—	—
9	-0.3290	0.0190	-0.0114	0.0460	0.0574
10	0.0260	—	-0.0152	0.0220	0.0372
11	0.0840	0.0180	-0.0304	0.0300	0.0604
12	-0.0410	—	0.0581	0.0720	0.0139
13	-0.1830	—	-0.0193	0.0040	0.0233
14	-0.0100	0.0210	-0.0744	0.0510	0.01254
15	-0.2180	0.0250	-0.0045	0.2570	0.2615
16	0.0080	0.0280	-0.0185	0.1060	0.1245
17	-0.0030	0.0190	-0.0149	0.0840	0.0989
18	-0.1920	0.0260	-0.1875	0.1730	0.3605
19	—	—	0.2633	-0.1380	-0.4013
20	—	—	-0.0402	-0.2770	-0.2368
21	—	—	—	-0.7100	—
22	—	—	-0.0884	-0.2740	-0.1856
Mittelwert	-0.0602	0.0251	-0.0132	-0.0219	0.0399
Std-Abw.	0.12	0.00525	0.083	0.201	0.161

3.1.2 Temperaturdifferenz zwischen CTD und Kippthermometer

Im Temperaturvergleich CTD-Sonde und Kippthermometer (Abb. 3.1, 3.2) werden die mit der CTD-Sonde an der Oberfläche bzw. in der gemessenen Tiefe ermittelten Werte gemittelt und mit denen der entsprechenden Kippthermometer-Werten verglichen. Aus der Dif-

ferenz der Werte wurde der Mittelwert und die Standardabweichung, jeweils mit und ohne Ausreißer, errechnet. An der Oberfläche ergab sich ein Mittelwert von 0.02 und eine Standardabweichung von 0.005, hingegen in der Tiefe wurde ein Mittelwert von -0.06 und eine Standardabweichung von 0.12 ermittelt. Diese Abweichung des Vorzeichen beim Mittelwert läßt sich durch die Druckdifferenz zwischen der Oberfläche und der Tiefe erklären.

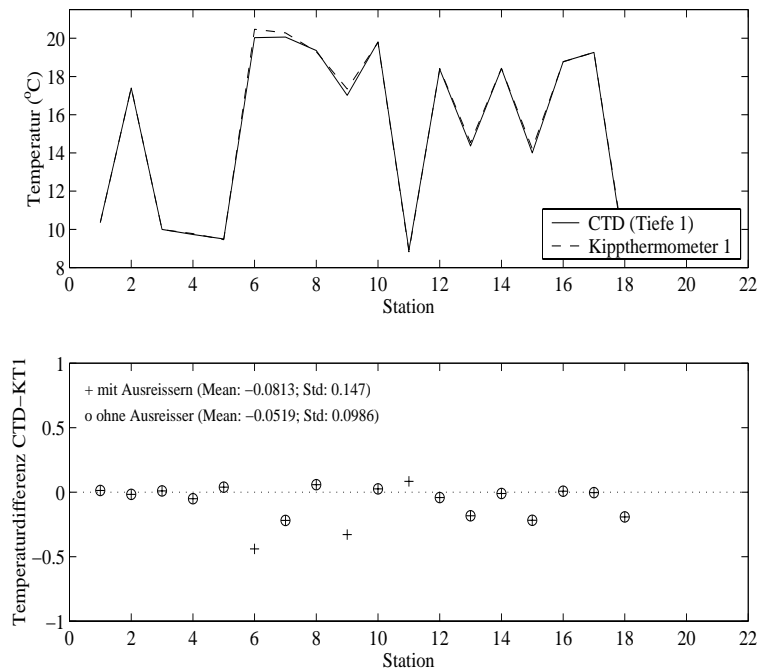


Abbildung 3.1: Temperaturdifferenzen ($^{\circ}\text{C}$): CTD - Kippthermometer an der Oberfläche

3.1.3 Temperaturdifferenz zwischen CTD und Thermosalinograph

Die Daten streuen leicht um Null (Abb. 3.3). Mittlere Abweichungen liegen bei 0.01°C , vernachlässigt man die Ausreißer. Die Standardabweichung beträgt in diesem Falle 0.08°C . Die beobachteten Unterschiede lassen sich u.a. durch Unreinheiten im Einsaugrohr des TSG bzw. durch Beeinträchtigung der Temperatur auf dem Weg zum Sensor erklären. Möglicherweise wurden durch Schiffsbewegungen die Daten nicht in der gleichen Tiefe ermittelt.

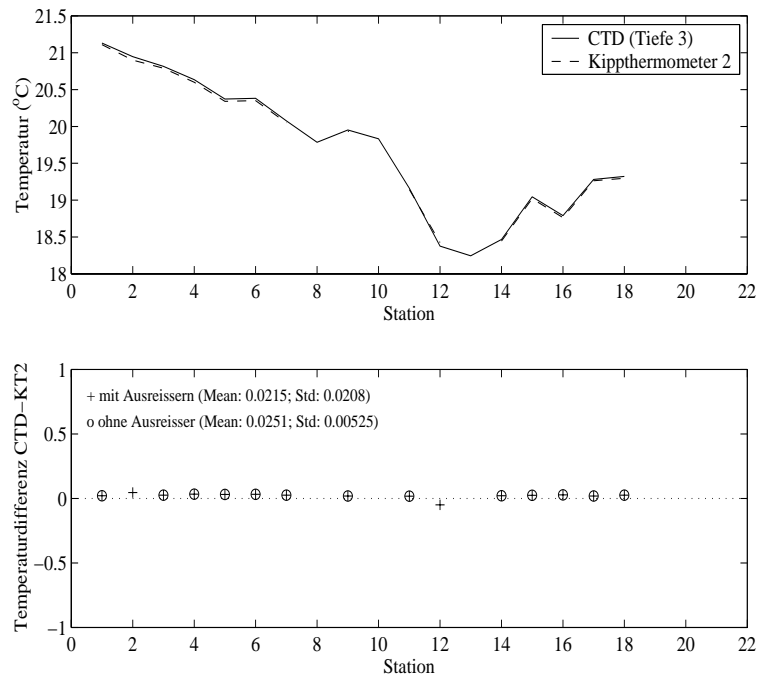


Abbildung 3.2: Temperaturdifferenzen ($^{\circ}\text{C}$): CTD - Kippthermometer in der Tiefe

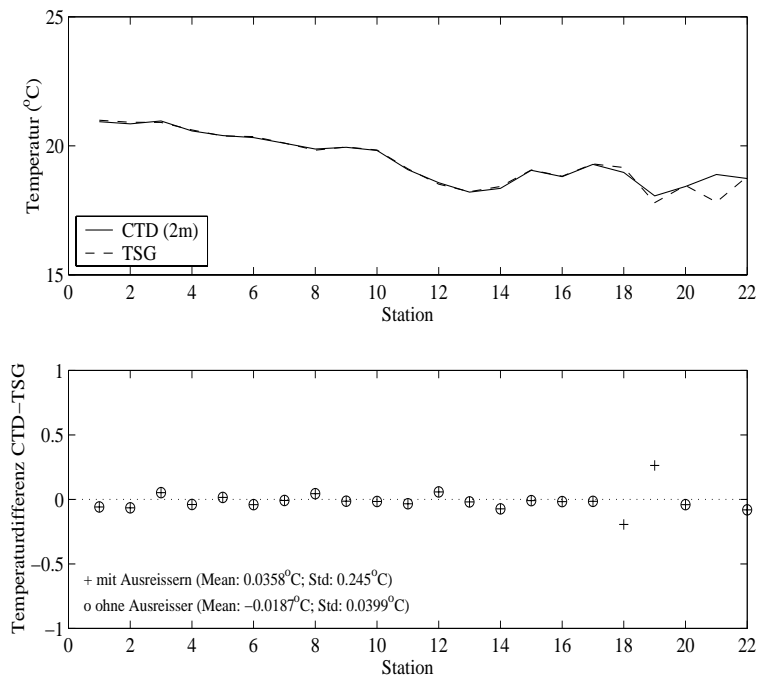


Abbildung 3.3: Temperaturdifferenzen ($^{\circ}\text{C}$): CTD (2m) - TSG

3.1.4 Temperaturdifferenz zwischen CTD und Pütz

Vergleicht man die Pütz-Temperatur mit der CTD-Temp. (Abb 3.4.), so ergeben sich ohne Ausreißer Differenzen von 0.02°C . Die Standardabweichung betr'agt 0.2°C . Erstaunlicherweise ergaben sich gute Übereinstimmungen der Werte bei Vernachlässigung der Ausreißer.

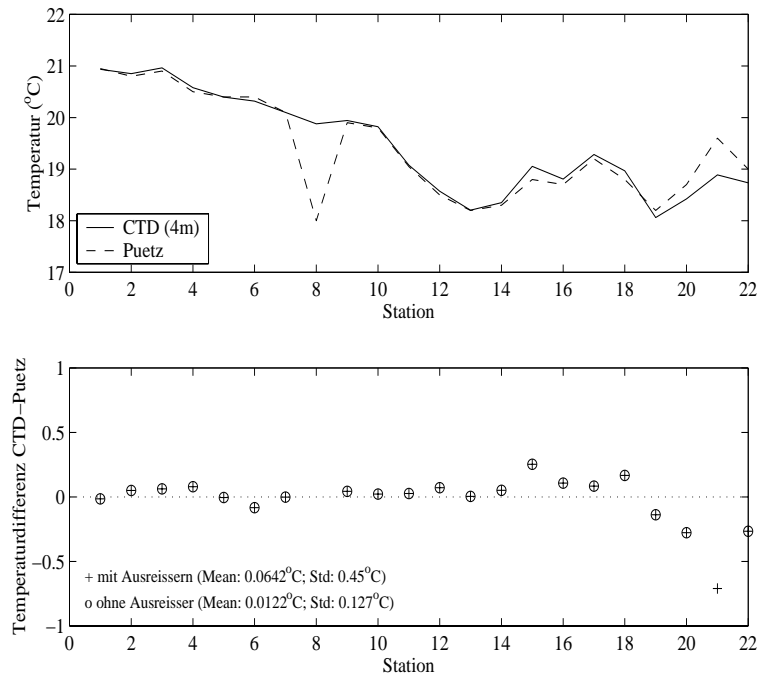


Abbildung 3.4: Temperaturdifferenzen ($^{\circ}\text{C}$): CTD (2m) - Pütz

3.1.5 Temperaturdifferenz zwischen Thermosalinograph und Pütz

Da die CTD- und die TSG-Werte gut übereinstimmen ergeben sich auch hier ähnliche Verhältnisse wie bei dem Vergleich von CTD und Pütz. (Abb. 3.5)

3.1.6 Methoden zur Messung des Salzgehaltes

Auch die gemessenen Salzgehalte müssen kalibriert werden. Hierfür werden die mit der CTD-Sonde gemessenen Salzgehalte in den Tiefen, wo die Schöpfer geschlossen wurden, mit den Salzgehalten der Schöpferproben verglichen. Diese werden als Referenzwert für die CTD-

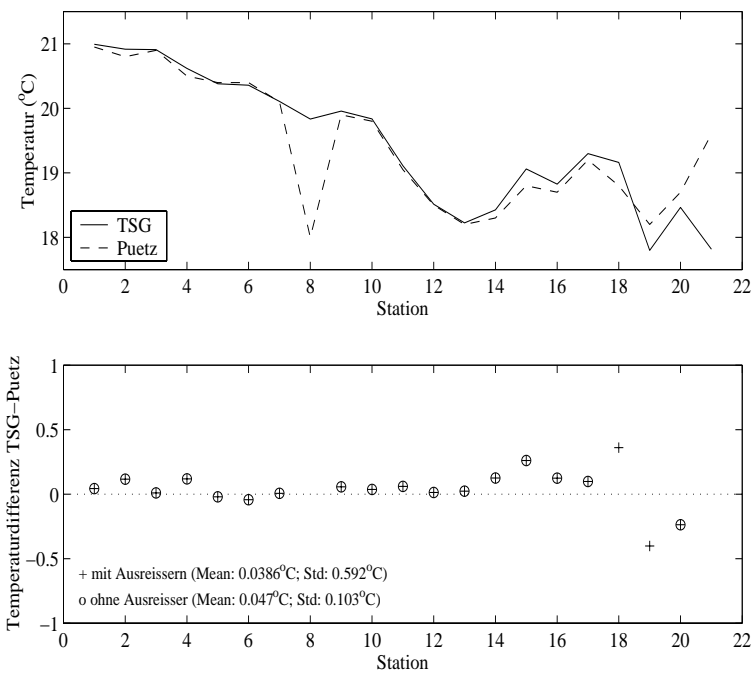


Abbildung 3.5: *Temperaturdifferenzen (°C): Thermosalinograph - Pütz*

Messung verwandt. Der Salzgehaltsvergleich CTD-TSG erfolgt in 2m Tiefe. Die Proben, die am TSG entnommen und mit dem Salinometer bestimmt wurden, werden entsprechend als Referenzwert für TSG-Messung verwandt.

Salinometer:

Mit dem Salinometer werden die Wasserproben, die zuvor mittels der Wasserschöpfer gewonnen wurden, am darauffolgenden Tag auf den Salzgehalt hin untersucht. Die Messung erfolgt über eine Wheatstone'sche Brücke, bei der der unbekannte Widerstand durch das Seewasser gebildet wird. Über den Abgleich der Schaltung und durch Tabellenwerte läßt sich dann der Salzgehalt feststellen. Die Meßgenauigkeit beträgt ± 0.02 .

CTD-Sonde:

An der CTD-Sonde ist eine 7-Elektroden-Quarzzelle installiert, die über eine Leitfähigkeitsmessung den Salzgehalt ermittelt. Die Meßgenauigkeit beträgt 0.001, die Zeitkonstante liegt bei 100 ms.

Thermosalinograph:

Der TSG mißt zusätzlich zur Temperatur den Salzgehalt des Wassers. Dabei wird ebenfalls eine 7-Elektroden-Quarzzelle verwendet. Der Fehler ist auch hier mit 0.001 anzunehmen.

Tabelle 3.3a: Gemessene Salzgehalte			
Station	CTD (2m)	TSG	TSG Probe
1	8.2830	8.1503	8.502
2	8.3910	8.1833	8.470
3	8.2940	8.0736	8.363
4	8.1810	7.9673	8.272
5	8.2200	7.9915	8.247
6	8.4520	8.2016	8.517
7	9.0070	8.7295	8.854
8	7.3640	7.1503	7.414
9	7.4030	7.2043	7.464
10	7.4470	7.2422	7.512
11	7.4650	7.2536	7.526
12	7.4640	7.2295	7.523
13	7.7830	7.5602	7.877
14	8.8310	8.5845	8.925
15	8.2210	7.9928	8.317
16	8.5610	8.3177	8.570
17	10.0330	9.7037	10.091
18	12.2030	11.7899	12.238
19	13.4715	12.0148	—
20	13.7640	12.9206	—
21	12.3410	14.4875	—
22	13.9690	13.5054	—

Tabelle 3.3b: Gemessene Salzgehalte						
Station	CTD (Tiefe 1)	Schöpfer 1	CTD (Tiefe 2)	Schöpfer 2	CTD (Tiefe 3)	Schöpfer 3
1	26.0390	26.141	8.3880	8.482	8.3880	8.455
2	14.9830	15.042	8.4010	8.472	8.4010	8.469
3	27.7180	—	8.3110	8.385	8.3110	8.379
4	27.3890	27.259	8.2070	8.283	8.2050	8.279
5	27.1870	27.096	8.2560	8.638	8.1820	8.281
6	8.4540	8.569	8.4160	8.592	8.4160	8.465
7	9.0100	8.061	8.9960	9.068	8.9960	9.068
8	7.3720	7.415	7.3530	7.423	7.3480	—
9	7.4470	7.501	7.4100	7.477	7.4090	7.477
10	7.4600	7.511	7.4600	7.511	7.4610	7.511
11	13.7800	13.652	7.4670	7.525	7.4670	7.520
12	7.4750	7.518	7.4470	7.520	7.4470	7.513
13	12.3470	12.338	7.8520	7.911	7.8530	7.921
14	8.8720	8.931	8.8450	8.931	8.8450	8.919
15	16.6100	16.266	8.2480	8.324	8.2430	8.317
16	8.5760	8.652	8.5430	8.611	8.5090	8.582
17	10.1010	10.116	10.0750	10.109	10.0140	10.095
18	27.0720	26.376	15.3320	15.366	12.1250	12.216

Die Salzgehaltsdifferenzen werden aus folgenden Meßwerten berechnet:

- Salzgehalt CTD-Sonde (2m) - Salzgehalt Thermosalinograph
- Salzgehalt CTD-Sonde (Tiefe 1) - Salzgehalt CTD-Probe (Schöpfer 1)
- Salzgehalt CTD-Sonde (Tiefe 2) - Salzgehalt CTD-Probe (Schöpfer 2)
- Salzgehalt CTD-Sonde (Tiefe 3) - Salzgehalt CTD-Probe (Schöpfer 3)
- Salzgehalt Thermosalinograph - Salzgehalt Thermosalinographenprobe

Tabelle 3.4: Salzgehaltsdifferenzen					
Station	CTD (2m) - TSG	TSG - TSG-Probe	CTD (T1) - Schöpfer 1	CTD (T2) - Schöpfer 2	CTD (T3) - Schöpfer 3
1	0.1327	-0.3517	-0.1020	-0.0940	-0.0670
2	0.2097	-0.2867	-0.0590	-0.0710	-0.0680
3	0.2204	-0.2894	—	-0.0740	-0.0680
4	0.2137	-0.3047	0.1300	-0.0760	-0.0740
5	0.2285	-0.2555	0.0910	—	—
6	0.2504	-0.3154	-0.1150	-0.1760	-0.0490
7	0.2775	—	—	-0.0720	-0.0720
8	0.2137	-0.2637	-0.0430	-0.0700	—
9	0.1987	-0.2597	-0.0540	-0.0670	-0.0680
10	0.2048	-0.2698	-0.0510	-0.0510	-0.0500
11	0.2114	-0.2724	0.1280	-0.0580	-0.0530
12	0.2345	-0.2935	-0.0430	-0.0730	-0.0660
13	0.2228	-0.3168	0.0090	-0.0590	-0.0680
14	0.2465	-0.3405	-0.0590	-0.0860	-0.0740
15	0.2282	-0.3242	0.3440	-0.0760	-0.0740
16	0.2433	-0.2523	-0.0760	-0.0680	-0.0730
17	0.3293	-0.3873	-0.0150	-0.0340	-0.0810
18	0.4111	—	0.6960	-0.0340	-0.0910
19	—	—	—	—	—
20	0.8434	—	—	—	—
21	—	—	—	—	—
22	0.4636	—	—	—	—
Mittelwert	0.279	-0.299	0.0488	-0.0729	-0.0685
Std. Abw.	0.152	0.0385	0.208	0.0309	0.0108

3.1.7 Vergleich der Salzgehaltsmessungen von CTD und Thermosalinograph

Im Vergleich der CTD-TSG Salzgehaltswerten ist leider keine gute Übereinstimmung erkennbar (Abb. 3.6). Die Standardabweichung beträgt 0.15 bei einem Mittelwert von 0.28. Auffällig ist, daß der CTD-Wert konstant über dem des TSG liegt. Der Vergleich TSG-TSG Probe zeigt, daß dieser Offset durch einen Fehler in der TSG-Messung hervorgerufen wird

(vergl. Abb 3.10.).

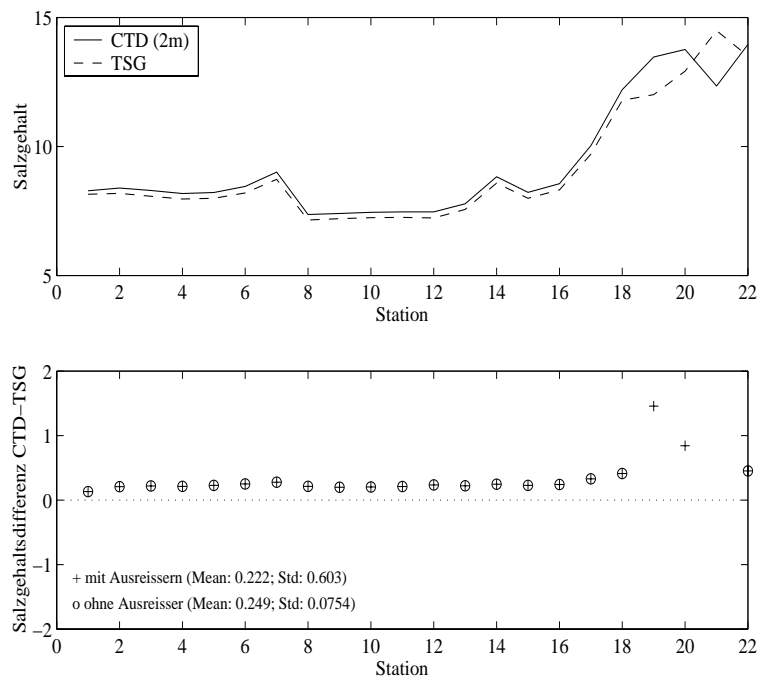


Abbildung 3.6: Salzgehaltsdifferenzen: CTD (2m) - Thermosalinograph

3.1.8 Vergleich der Salzgehaltsmessungen von CTD und der Schöpferprobe

In diesem Vergleich lassen sich gute Übereinstimmungen erkennen (Abb.3.7, 3.8, 3.9). Ausreißer lassen sich durch unsaubere Arbeit erklären. An der Oberfläche ergab sich eine Standardabweichung von 0.02 bei einem Mittelwert von 0.07. In der Tiefe beträgt σ 0.2 und der Mittelwert 0.05.

3.1.9 Vergleich der Salzgehaltsmessungen zwischen Thermosalinograph und der am TSG abgefüllten Proben

Die Proben wurden direkt am TSG entnommen und sollten so keinen nennenswerten Unterschied aufweisen (Abb. 3.10.). die Standardabweichung beträgt 0.04 bei einem Mittelwert

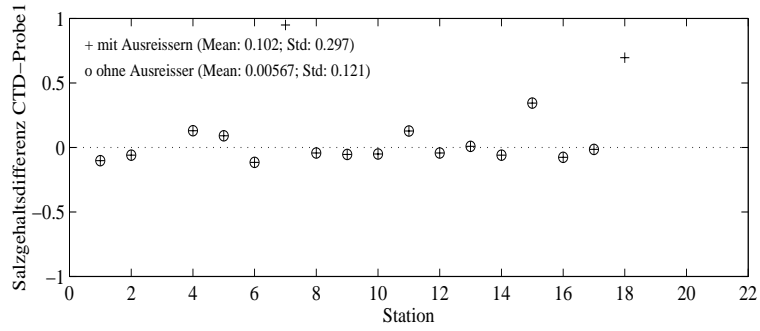
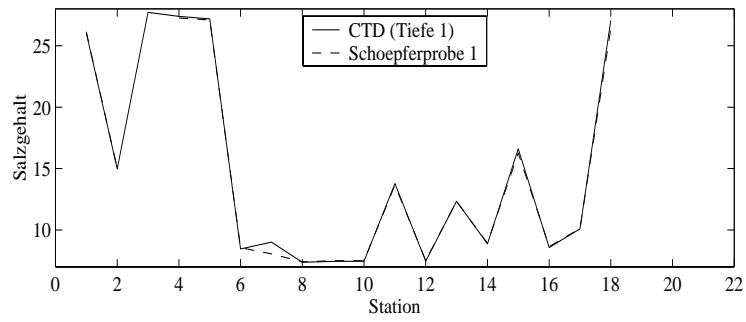


Abbildung 3.7: Salzhaltendifferenzen: CTD (Tiefe 1) - Schöpferprobe (Tiefe 1)

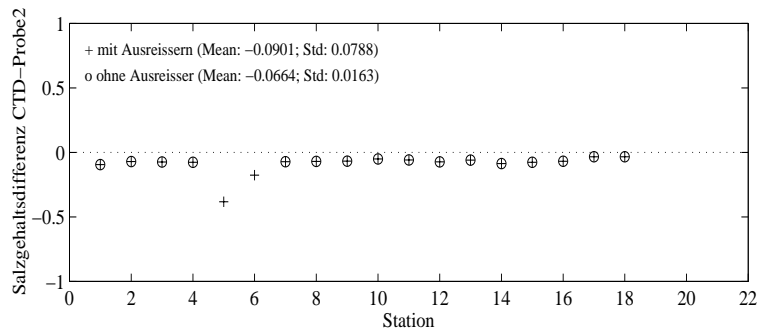
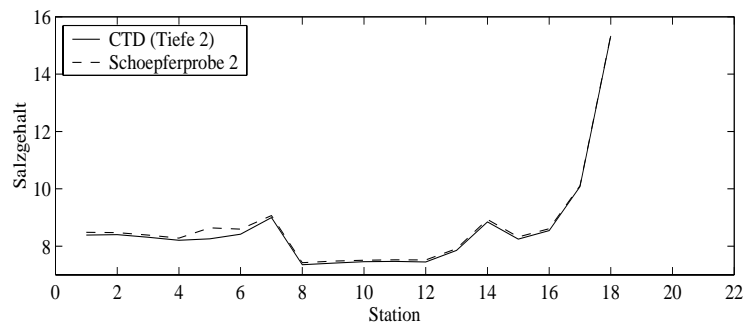


Abbildung 3.8: Salzhaltendifferenzen: CTD (Tiefe 2) - Schöpferprobe (Tiefe 2)

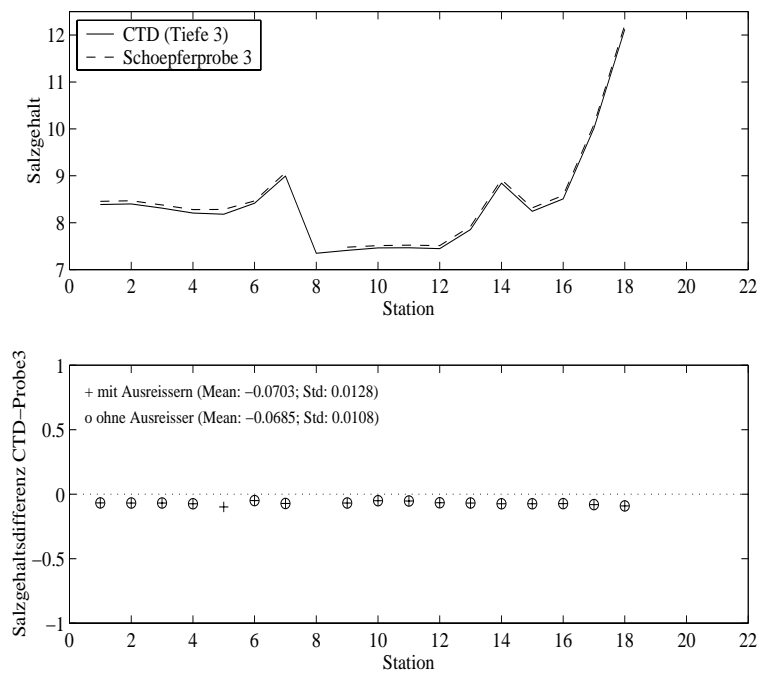


Abbildung 3.9: Salzgehaltsdifferenzen: CTD (Tiefe 3) - Schöpferprobe (Tiefe 3)

von 0.3. Auffällig ist, daß der Probenwert immer über dem des TSG liegt. Dies läßt darauf schliessen, daß hier um einen Offset korrigiert werden muß.

3.2 Kalibrierung

Anzubringende Korrekturen

Meßwert	Korrekturwert	Referenzgerät
CTD-Temperatur	0.06°C -0.003°C	Kippthermometer (Tiefe) Kippthermometer (Oberfläche)
CTD-Salzgehalt	-0.05 0.07	Salinometer (Tiefe) Salinometer (Oberfläche)
TSG-Temperatur	-0.01°C	CTD (unkorrigiert)
TSG-Salzgehalt	0.3	Salinometer

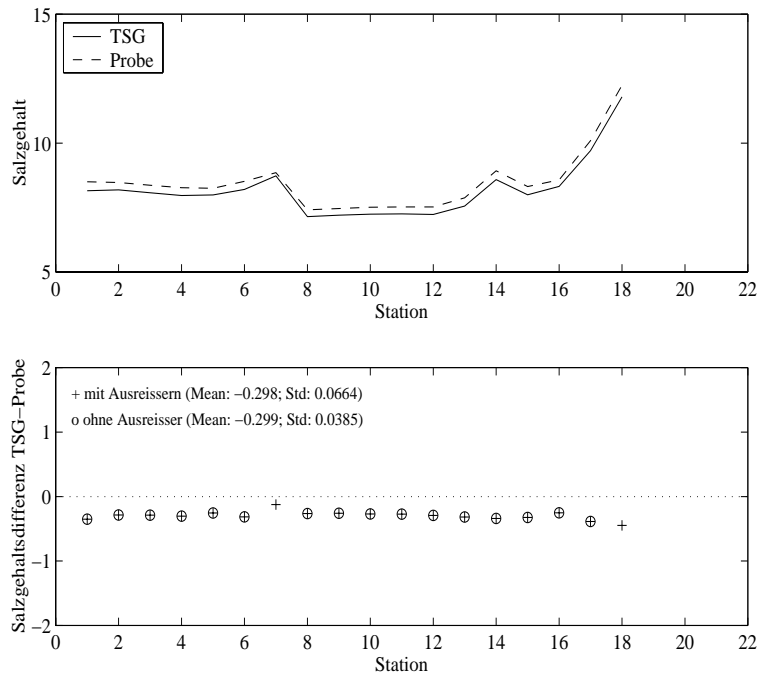


Abbildung 3.10: Salzgehaltsdifferenzen: TSG - TSG-Probe

4 CTD-Messungen

4.1 Einleitung

Während der Ausfahrt wurden an insgesamt 22 Stationen CTD-Messungen durchgeführt. Dafür nutzten wir die OTS-Sonde der Meerestechnik Elektronik GmbH mit Zusatzsensoren für die Bestimmung von Sauerstoff- und Chlorophyllgehalt (Fluoreszenzmessung). Die Werte der Sauerstoffmessungen waren aufgrund technischer Probleme so ungenau, daß diese nicht in diesem Bericht dargestellt werden. Die ersten 8 Stationen stellen einen NE-SW-Schnitt durch den Fehmarnbelt dar. Die weiteren Stationen 9 bis 22 bieten einen küstenparallelen, topographischen Längsschnitt vom Fehmarnbelt bis nordöstlich von Rügen. Die Datenangaben in den Kommentaren zu den einzelnen Parametern sind den Abbildungen entnommen und deshalb nur Schätzwerte. Die Positionen der einzelnen Stationen sind in den Abbildungen durch rote Kreuze gekennzeichnet.

4.2 Fehmarnbelt - Schnitt

4.2.1 Temperatur

Durch die heißen Tage ist das Oberflächenwasser stark aufgewärmt. Bis in eine Tiefe von 10m liegt die Durchschnittstemperatur bei 20 - 21°C. In 10m befindet sich eine Temperatursprungschicht, in der das Wasser bis 17m zwischen 16 und 18°C warm ist. Ab 18m beginnen die kalten Tiefwassermassen, mit 10°C zwischen 20 und 26m. Im Nordosten zwischen 54°64 und 54°62 nördlicher Breite, in einer Tiefe von 16m weist eine kühlere Wasserlinse innerhalb der wärmeren Schicht vom Rand in die Grafik hinein. Insgesamt läßt sich ein Dreischichtenkomplex erkennen.

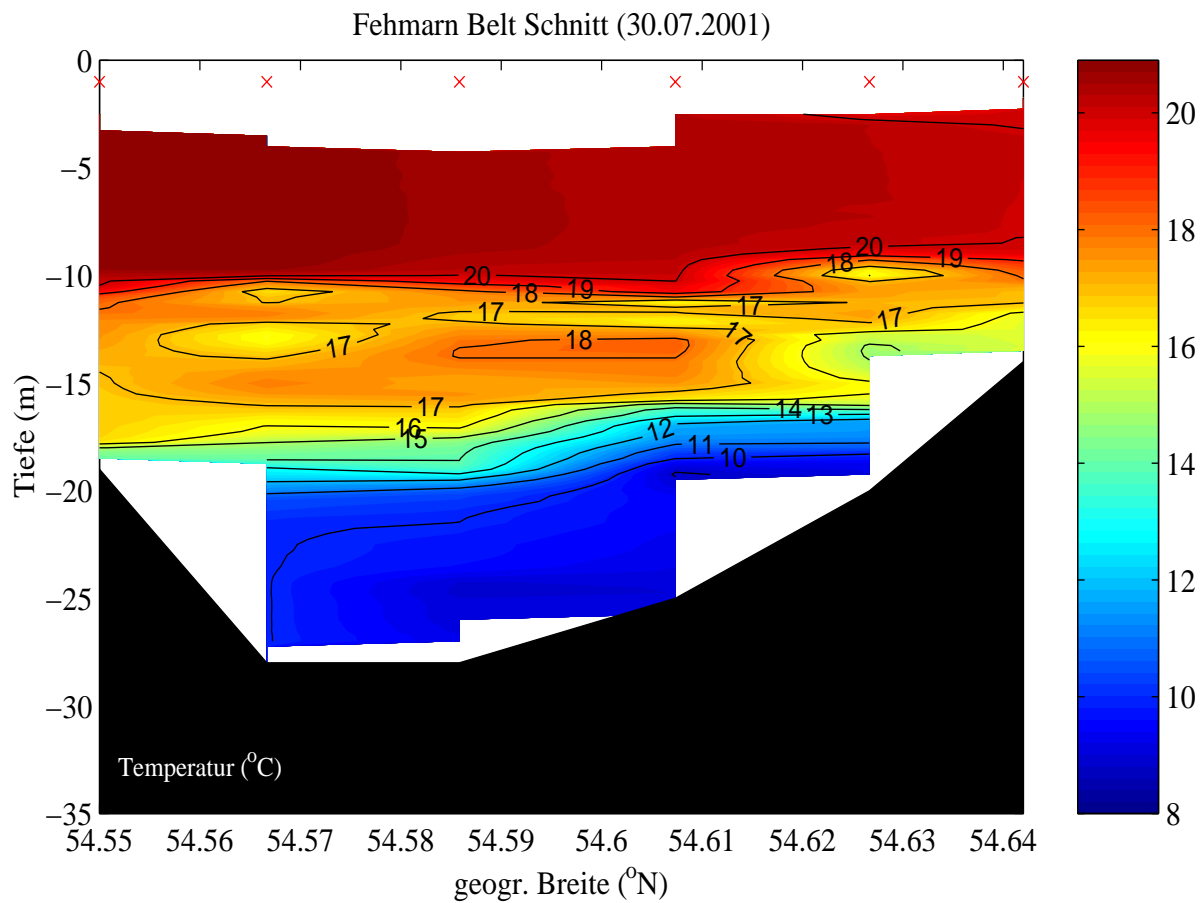


Abbildung 4.1: *Temperaturschnitt durch den Fehmarnbelt am 30.07.2001*

4.2.2 Salzgehalt

Für den Salzgehalt ergibt sich eine analoge Interpretation wie für die Dichte. Schweres salziges Wasser ist in der Tiefe ab 20m anzutreffen, darüber befindet sich ab 12m eine mittel salzige Schicht worüber sich die salzarme leichtere Schicht anschließt. Auch die Linien gleichen Salzgehaltes laufen wie bei der Dichte im linken Bildausschnitt in 20m Tiefe zusammen. Das schwere salzige Tiefenwasser ist vermutlich Nordseewasser.

4.2.3 Dichte

Es zeichnet sich ein deutliches Dreischichtensystem mit schwerem Tiefenwasser ab 20m, leichterem Zwischenschichtwasser ab 10m und leichtem Oberflächenwasser ab. Die Isobaren laufen am Übergang Zwischenschicht zu Tiefwasserschicht am linken Bildteil bei 20m dicht

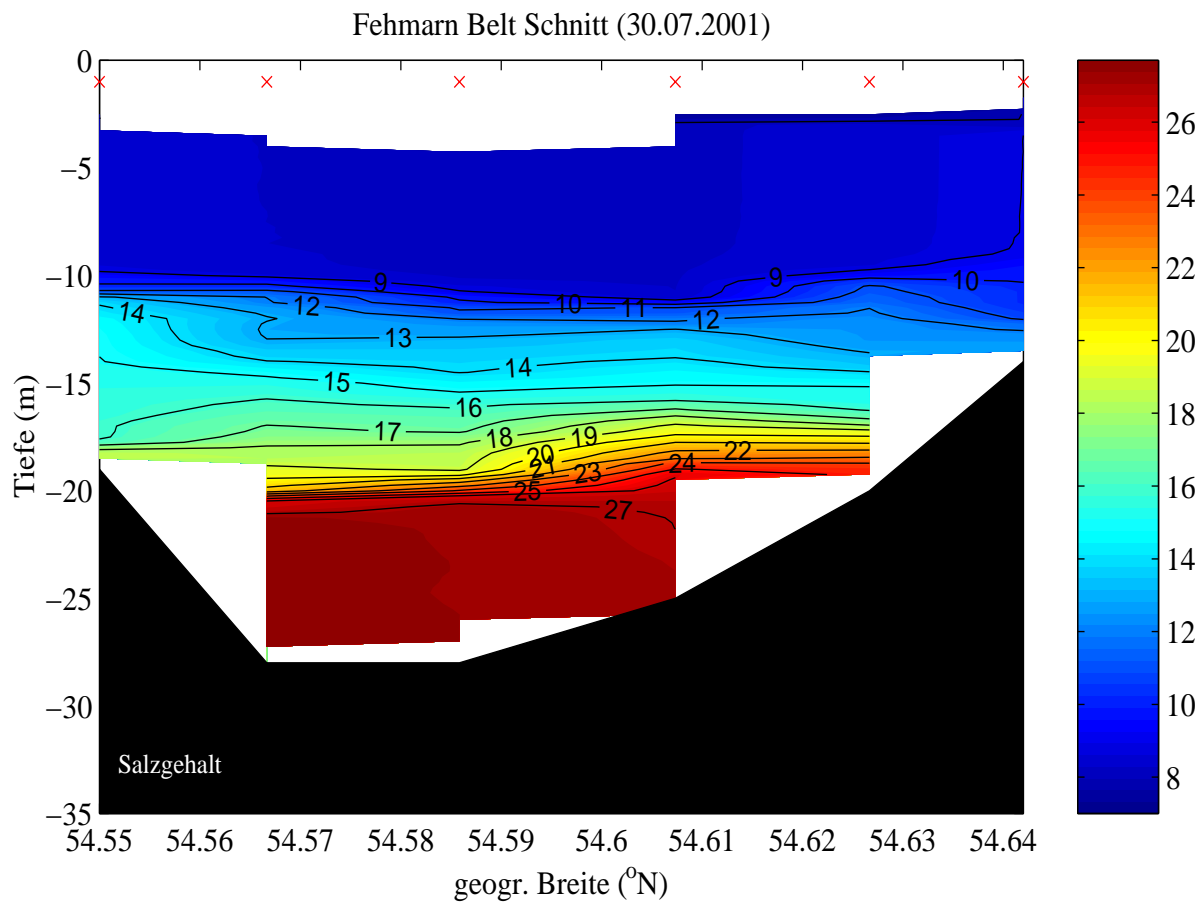


Abbildung 4.2: Salzgehaltsschnitt durch den Fehmarnbelt am 30.07.2001

zusammen. Dies bedeutet, daß in gleicher Tiefe am rechten Bildausschnitt ein geringerer Druck herrscht. An Hand der ADCP Daten ließ sich daraus ableiten, daß die untere Tiefwasserschicht nahezu stabil bzw unbewegt ist, die aufliegenden leichteren Schichten sich aber nach Osten bewegen, also aus der Bidfläche herausströmen.

4.2.4 Chlorophyll a

Chlorophyllmaxima befinden sich in einer Tiefe von 12 - 17m meist in Landnähe. Oberhalb 10m und unterhalb 20m ist kaum eine Fluoreszenz nachzuweisen. Das Chlorophyll schwimmt auf der kälteren tiefergelegenen Wasserschicht unterhalb des sehr warmen Oberflächenwassers auf. Unterhalb von 20m gelangt vermutlich nicht genügend Licht zur Photosynthesereaktion hin, sodaß das dortige Fehlen von Chlorophyll darauf zurückzuführen ist.

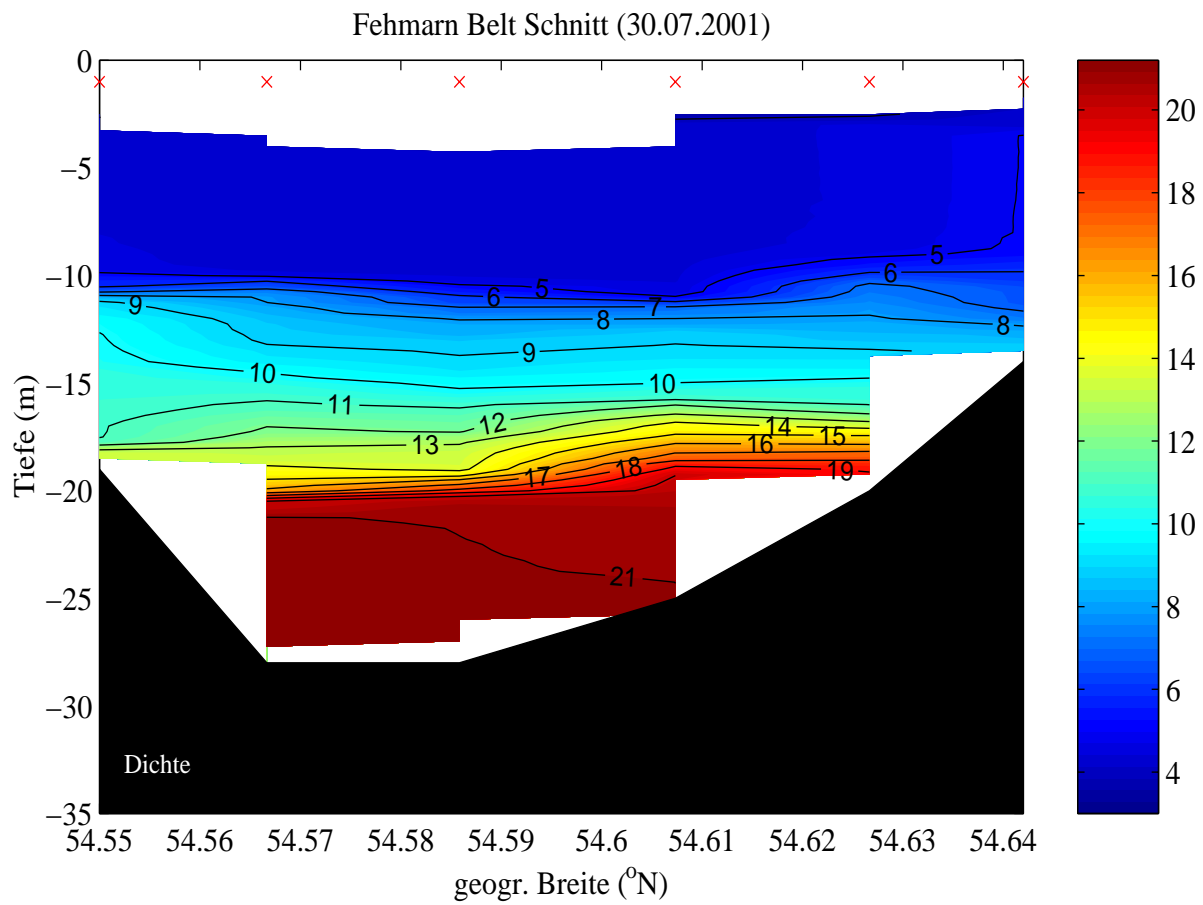


Abbildung 4.3: *Dichteschnitt durch den Fehmarnbelt am 30.07.2001*

4.2.5 Sauerstoff

Leider sind die Daten unbrauchbar. Die Ursache dafür ist die lange Zeitkonstante des Sauerstoffsensors in Verbindung mit den starken Gradienten in der Ostsee sowie dem schnellen Temperatursensor.

4.3 Topographischer Längsschnitt

4.3.1 Temperatur

In der Temperaturverteilung macht sich die besondere Topographie der Darßer Schwelle kaum bemerkbar. Die Temperatur ist in drei Schichten aufgeteilt. An eine warmen Ober-

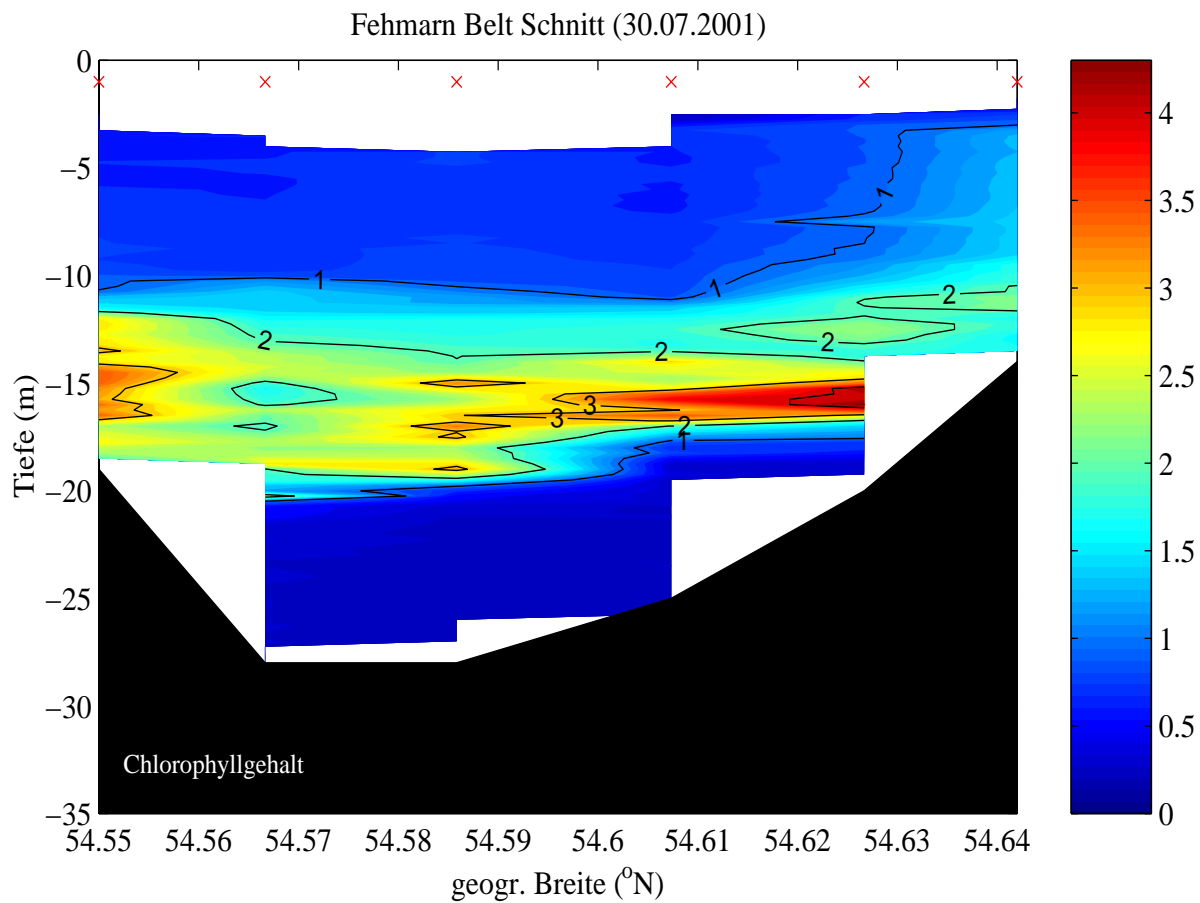


Abbildung 4.4: Chlorophyllschnitt durch den Fehmarnbelt am 30.07.2001

flächenbereich bis 12m schließt sich ein mittlerer Temperaturbereich von 12 bis 15°C an, der eine Ausdehnung bis in 18m erreicht. An diesen Bereich schließt sich dann das Tiefenwasser mit einer Temperatur von 9°C an.

4.3.2 Salzgehalt

Analog zur Dichteverteilung ergibt sich eine Interpretation des gemessenen Salzgehaltes. Salzreiches Wasser wird von der Darßer Schwelle zurückgehalten und gelangt durch den natürlichen Unterwasserdeich nicht in die östliche Ostsee. Sehr kleine Mengen mittleren Salzgehaltes schaffen es dennoch un sinken hinter der Schwelle zum Grund. Der Salzgehaltsunterschied von westlicher zu östlicher Ostsee liegt bei 30ppm.

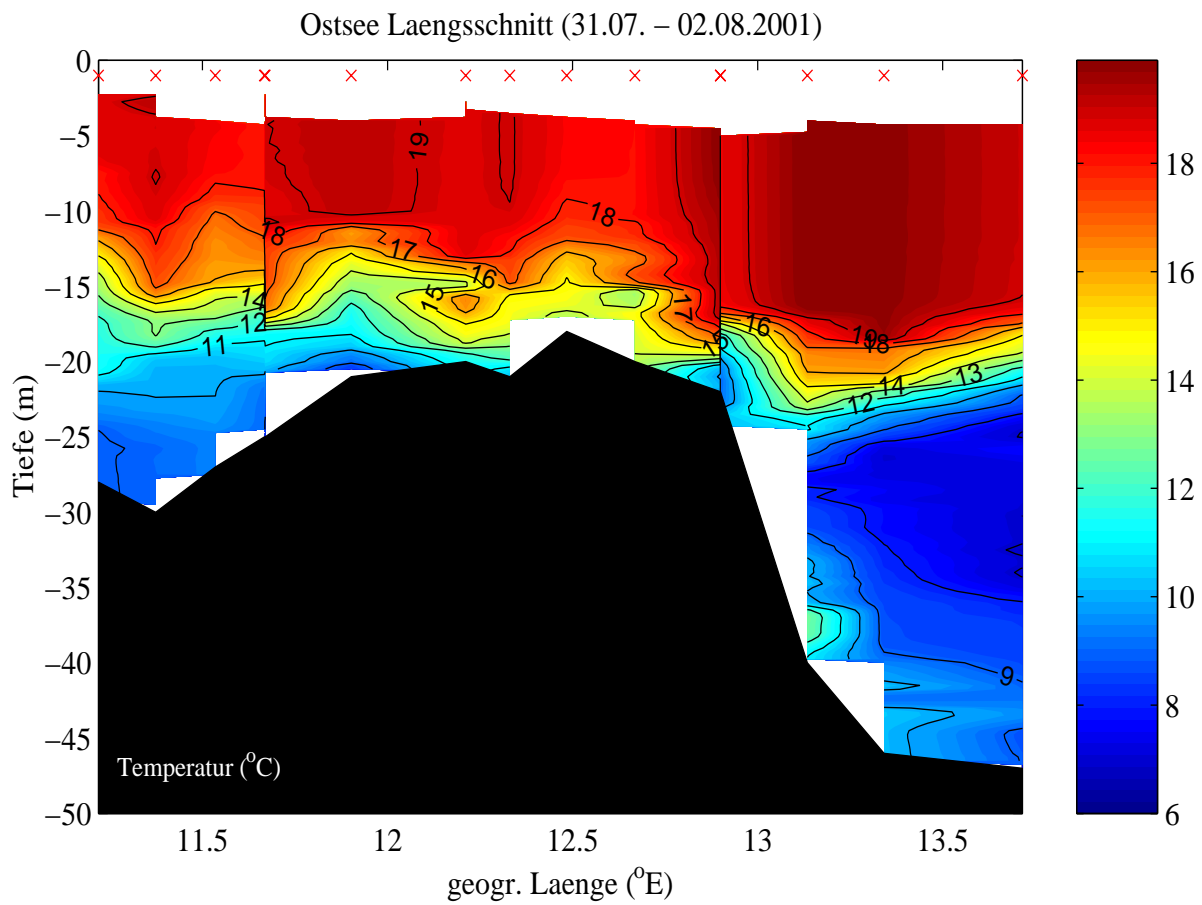


Abbildung 4.5: *Temperaturschnitt längs der Fahrtroute in die Ostsee*

4.3.3 Dichte

Es läßt sich deutlich erkennen, daß schwereres Nordseewasser östlich der Darßer Schwelle zurückgestaut wird und nicht in die östliche Ostsee gelangt. Die Darßer Schwelle stellt für den Hauptteil des Schweren Wassers ein unüberwindliches Hindernis dar. Es gelangen nur geringe Mengen mittelschweren Wassers hinüber und sinken in das tiefergelegene Becken ab. Somit ist das Wasser der Mecklenburger Bucht und generell der westlichen Ostsee schwerer als das der östlichen Ostsee.

4.3.4 Chlorophyll a

Auffällig ist, daß das Chlorophyll sich auf der schwereren salzreichen Schicht anlagert, mit Maxima direkt vor der Darßer Schwelle. Das Chlorophyll gelangt ohne seinen Transpor-

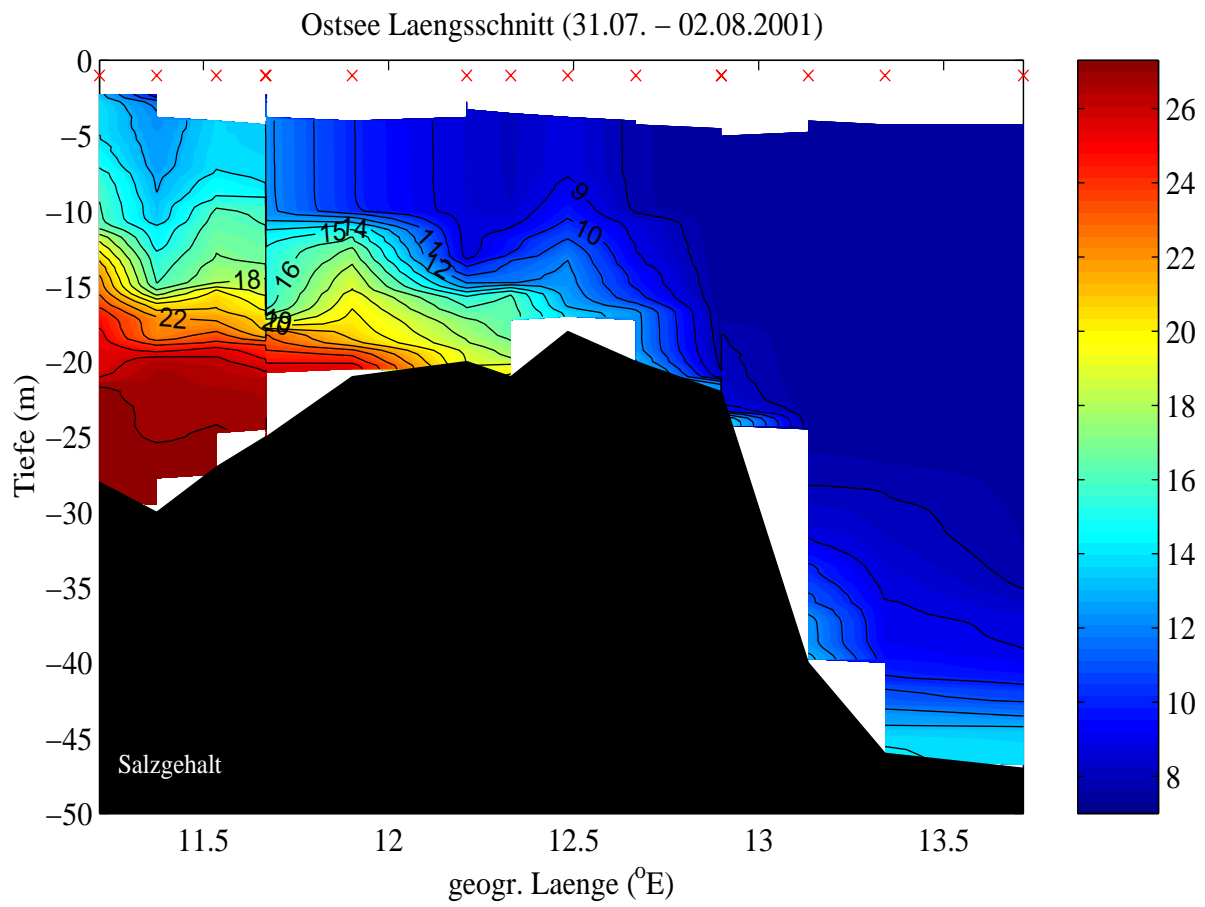


Abbildung 4.6: *Salzgehaltsschnitt längs der Fahrtroute in die Ostsee*

teur des schweren Nordseewassers selbst nicht über Schwelle in das östliche Becken. In der westlichen Ostsee ist mehr Chlorophyll vorhanden als in der fast süßen östlichen Ostsee.

5 ADCP-Messungen

5.1 Einleitung

5.1.1 Funktionsweise des Geräts

Während der Praktikums-Ausfahrt vom 30.7.2001 bis zum 2.8.2001 wurden die Strömungen entlang der Route mit einem ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) gemessen. Mit diesem Gerät lassen sich durch Aussenden akustischer Signale Strömungsrichtungen und Strömungsstärke bestimmen. Schallwellen, die auf einen Körper treffen, werden daran reflektiert und wieder empfangen. Bewegt sich nun dieser Körper, wird die Frequenz der zurückkommenden Wellen erhöht oder erniedrigt, je nachdem, ob der Körper sich auf die Schallquelle zu oder von ihr wegbewegt. Indem das Gerät unterschiedliche Laufzeiten unterschiedlichen Tiefen zuordnet, kann es so ein Vertikal-Profil erstellen.

Das ADCP misst mit einer Frequenz von 300 kHz, hat eine Reichweite von ca. 100 Metern und eine Auflösung von 0,5 Metern.

5.1.2 Datenverarbeitung

Die Rohdaten wurden in Matlab-geeigneter Form zur Verfügung gestellt. Die Geschwindigkeit des Schiffes, die aus der stärkeren Rückstrahlung vom Boden ermittelt wird, muß aus den Rohdaten herausgerechnet werden. Bei Dampfstrecken kommt es zu nicht unerheblichen Fehlern, da die Fahrt des Schiffsrumpfes durchs Wasser die Anzeige der Strömungsgeschwindigkeiten beeinflusst. Dieser Fehler ist auf der ALKOR deutlich zu erkennen, da das ADCP relativ weit achtern unter dem Rumpf befestigt ist. Die benötigte Korrektur wurde bei früheren Fahrten empirisch aufgenommen und schon in die Daten eingearbeitet. Bei der Darstellung des Fehmarn-Querschnittes wurde die Strömungsgeschwindigkeit senk-

recht zum Schnitt dargestellt, beim Längsschnitt parallel zur Topographieachse. Das starke Bodenecho verfälscht die Signale in Bodennähe, so daß hier ein Teil der Daten verworfen wurde.

5.2 Ergebnisse und Diskussion

5.2.1 Querschnitt durch den Fehmarnbelt

Der erste Querschnitt durch den Fehmarnbelt (Abbildung 5.1) wurde am 30.7.2001 während der Hinfahrt erstellt.

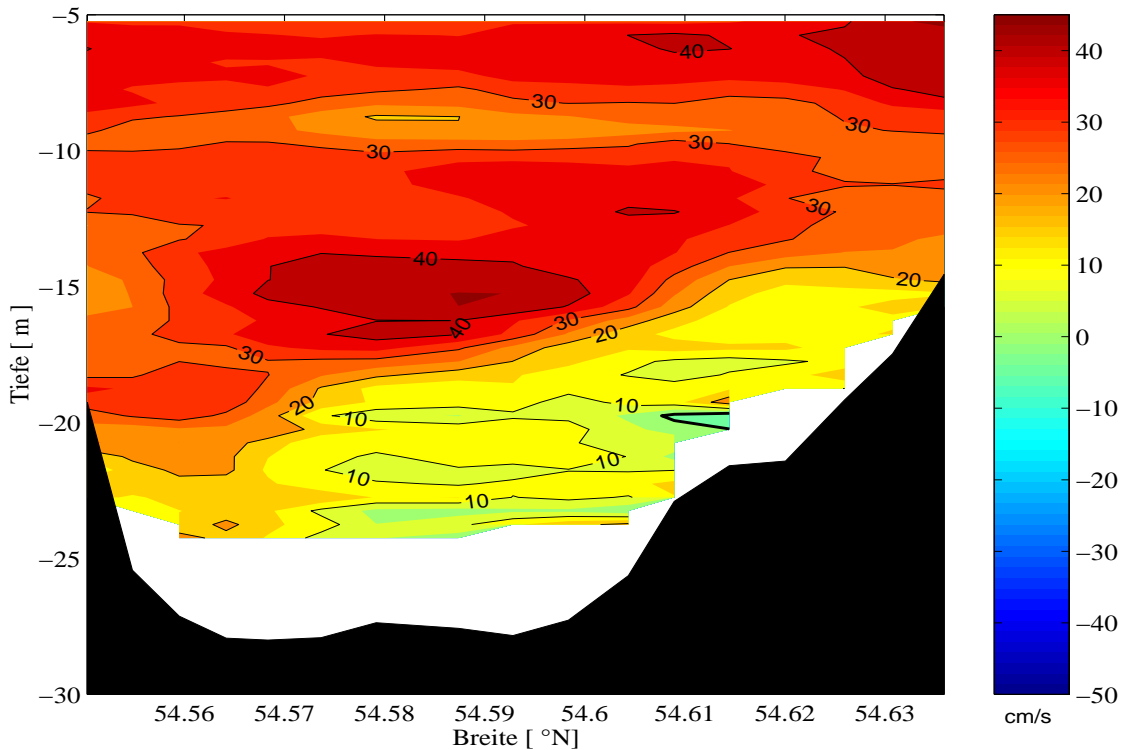


Abbildung 5.1: Querschnitt durch den Fehmarnbelt Hinfahrt 30.7.01(Beachte Skalierung!)

Am 30.7. ist im gesamten Fehmarnbelt ein Einstrom in die Ostsee zu verzeichnen. Die höchsten Geschwindigkeiten von über 30 cm/s sind an der Oberfläche und in einer Schicht zwischen 13m und 17m im zentralen Teil des Belts festzustellen. In der Sprungschicht, die sich in den CTD-Profilen auf ca. 20 m erkennen lässt, nimmt die Strömung stark ab. Gemessene Werte liegen hier im Bereich zwischen 0 und 10 cm/s.

In den Tagen vor der Messung hatte stetiger Ost-Wind das Wasser in die Beltsee gedrückt, das nun, vom frischen West-Wind unterstützt, wieder in die Ostsee zurückfloss. In Bodennähe schwächt sich die Strömung durch Reibung ab, unterstützt durch eine sehr stabile Schichtung der Wassermassen.

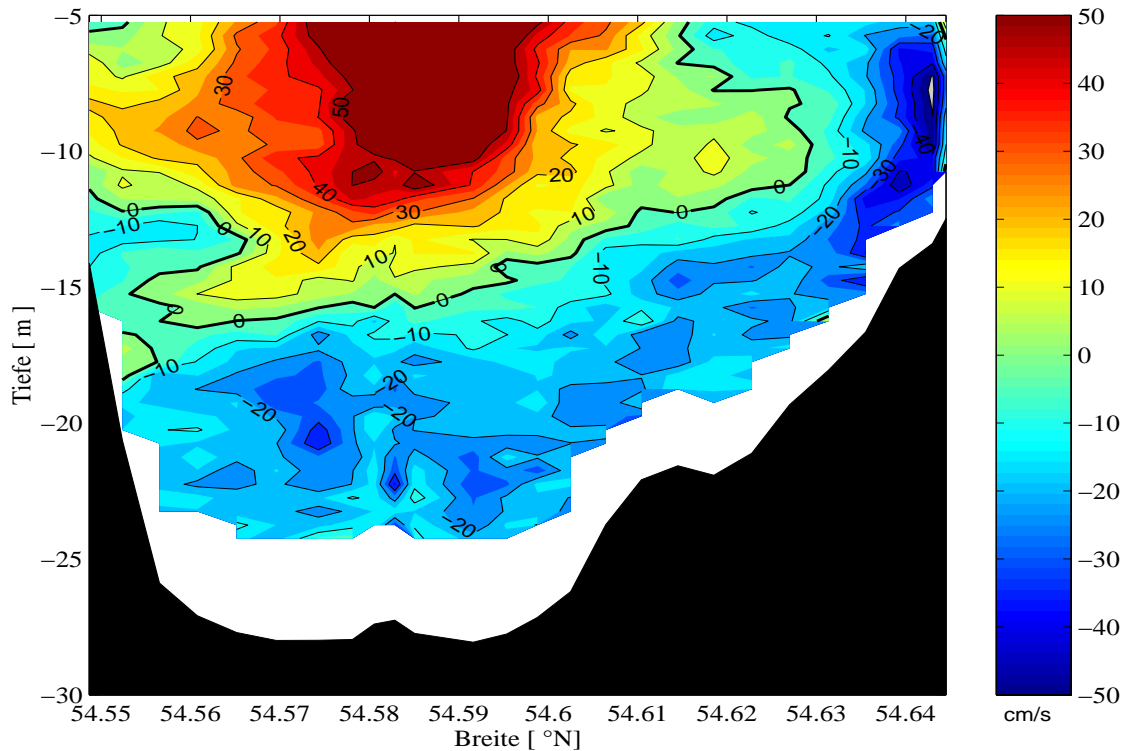


Abbildung 5.2: Querschnitt durch den Fehmarnbelt Rückfahrt 2.8.01(Beachte Skalierung!)

Dieser Schnitt wurde am 2.8.2001 aufgenommen. Er zeigt einen gut definierten Bereich im zentralen Fehmarn-Belt, in dem bis in ca. 15 m Tiefe ein starker Einstrom in die Ostsee stattfindet. Das Strömungsmaximum liegt an der Oberfläche mit über 50 cm/s.

Ab ca. 15 m Tiefe im gesamten Belt und in einem schmalen Bereich ab $54^{\circ} 63' N$ bis zum nördlichen Rand findet eine Umkehrung der Strömungsrichtung statt, hier kommt es zu einem Ausstrom aus der Ostsee mit Geschwindigkeiten zwischen 10 und 30 cm/s.

Vermutlich sind die Unterschiede der beiden Schnitte in der Oszillation der Ostsee zu suchen. Nach einem langanhaltenden Windstress kommt es zu Schwingungen der transportierten Wassermassen mit einer Periode von ca. 26 h. Während am 30.7. das Wasser nach einem starken Ost-Wind in Richtung Arkonasee schwappte, kam es drei Tage später am 2.8. folglich zu einem Ausstrom.

Der starke Einstrom an der Oberfläche ist vermutlich durch Windstress entstanden.



Während der Fahrt nach Osten wurden kontinuierlich ADCP-Daten aufgenommen, die in einer Grafik entlang der Topographieachse dargestellt sind (Abbildung 5.3). Der Schnitt geht von $10^{\circ} 30' E$ bis ca. $13^{\circ} 40' E$.

Auf der Anfahrt nach Warnemünde und beim Wiederaufnehmen des Kurses haben wir die Topographieachse verlassen, die Daten wurden jedoch trotzdem im Diagramm dargestellt. Dies führt zu einer Verfälschung der Strömungsmessungen im Bereich zwischen $11^{\circ} 50' E$ und $12^{\circ} 10' E$ hin zu niedrigeren Geschwindigkeiten.

Zu beachten ist, daß beide Schnitte sich aus Daten zusammensetzen, die über zwei Tage genommen wurden. Deshalb lassen sich auf den ersten Blick keine einheitlichen Aussagen über Oszillations-Vorgänge treffen.

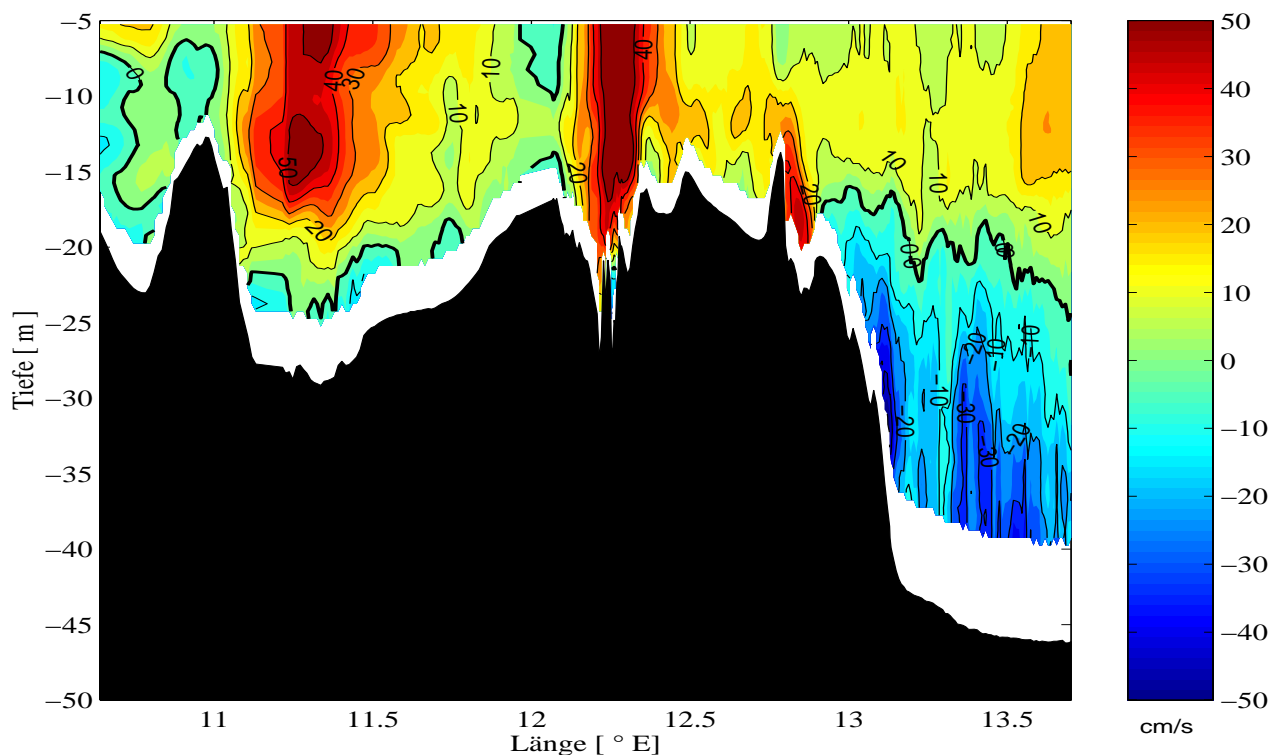


Abbildung 5.3: Längsschnitt entlang der Topographieachse auf dem Hinweg 30.+31.7.01

Der vordere Teil des Längsschnittes bis ca. $12^{\circ} E$ wurde am gleichen Tag wie der erste Fehmarnbelt-Querschnitt genommen. Die gemessenen Geschwindigkeiten stimmen im Belt bei beiden Schnitten gut überein. Auch hier zeigte sich ein Netto-Einstrom in die Ostsee, nur in Bodennähe wurde ein Rückstrom gemessen. Der restliche Teil des Schnittes wurde am nächsten Tag aufgenommen. Neben weiterem Einstrom ist hier ein starker Rückfluß

von Wassermassen im tiefen Arkonabecken zu verzeichnen. Die höchsten Strömungsgeschwindigkeiten wurden im Fehmarnbelt und in der Kadett-Rinne mit Werten über 40 cm/s festgestellt. Dies sind auch die engsten Stellen entlang der Topographieachse. An den breiteren Stellen nimmt demzufolge auch die Geschwindigkeit wieder ab.

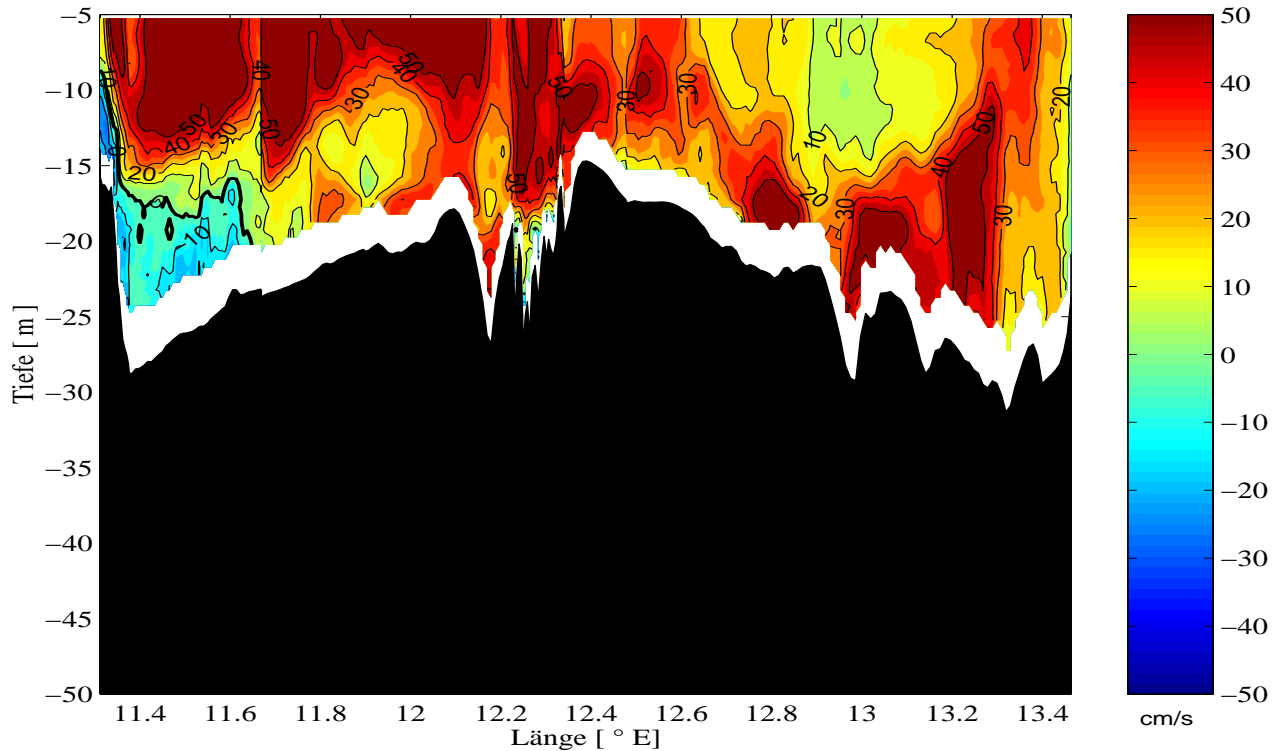


Abbildung 5.4: Längsschnitt entlang der Topographieachse auf dem Rückweg 1.+2.8.01

Dieser Schnitt wurde am 1. und 2. August aufgenommen und zeigt über weite Strecken einen Einstrom in die Ostsee. Lediglich im Fehmarnbelt sind rückläufige Strömungen zu beobachten, die sich auch gut mit dem gemessenen Strömungsquerschnitt vom 2.8. decken. Inwieweit bei den beobachteten Strömungsverhältnissen Oszillationsvorgänge eine Rolle spielen, ist unklar und kann mit den vorhandenen Messungen nicht deutlich erklärt werden.

Vergleiche mit den Pegelständen am Institut zeigten, dass in der Woche vom 30.7. bis 2.8.01 nicht von einer Periode von 26 h ausgegangen werden kann. Es handelte sich um weit kürzere Schwingungsdauern, die Messwerte deckten sich jedoch recht gut mit den beobachteten Ein- und Ausstromvorgängen.

5.3 Vergleich mit der Strömungsvorhersage des BSH (Bundesamt für Schifffahrt und Hydrographie)

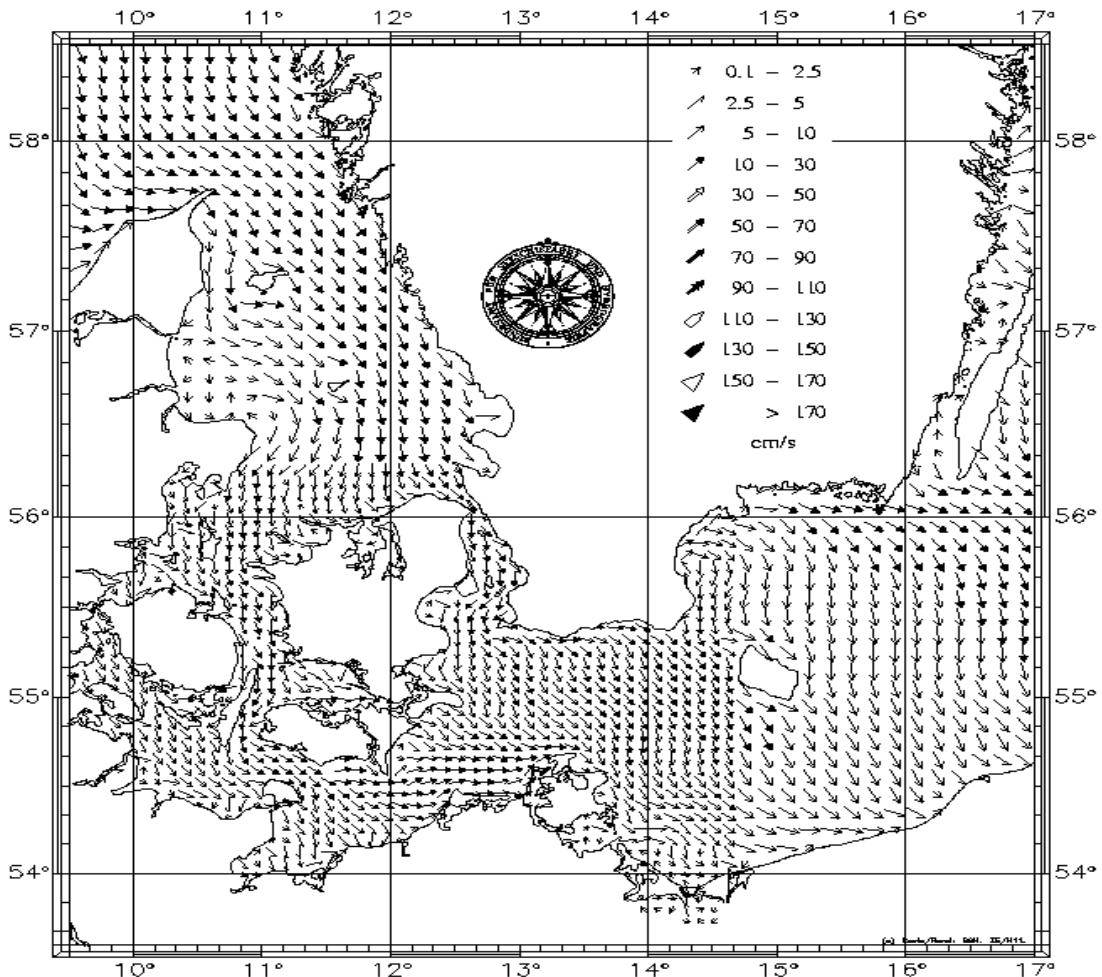
Das BSH erstellt für jeden Tag eine Strömungskarte, die sich aus gemittelten Wind-Daten berechnet und die Strömungsrichtung und Stärke für die obersten 8 m der Wassersäule angibt.

Am 29.7. zeigt die Karte einen durch den langanhaltenden Ost-Wind bewirkten Ausstrom durch den Fehmarn-Belt, der sich am darauffolgenden 30.7., dem Tag des ersten Querschnittes, umkehrt und sich gut mit den Messungen deckt (Abbildung 5.5)

Am 31.7. und 1.8.01 zeigt die Karte weiterhin einen Einstrom in die Ostsee, die Geschwindigkeiten nehmen jedoch am 1.8. schon leicht ab. Die Richtungspfeile zeigen nicht parallel zur Topographie-Achse, was die geringeren Strömungsgeschwindigkeiten im ersten Teil des Längsschnittes während der Rückfahrt (rechte Hälfte in Abbildung 5.4) erklären könnte, da hier nur die Komponente parallel zur Achse geplottet wurde.

Die Strömungsverhältnisse am 2.8. (Abbildung 5.6) decken sich nicht mit den gemessenen Werten, da die Karte einen Ausstrom aus der Ostsee verzeichnet, jedoch ein windbedingter Einstrom im Fehmarn-Belt beobachtet wurde.

Die Karte zeigt gemittelte Daten aus Windmessungen eines Tages, während die Strömungsschnitte der Ausfahrt als Momentaufnahmen betrachtet werden können. Insoweit kann ein Vergleich zwischen beiden Angaben nicht vollständig sein.

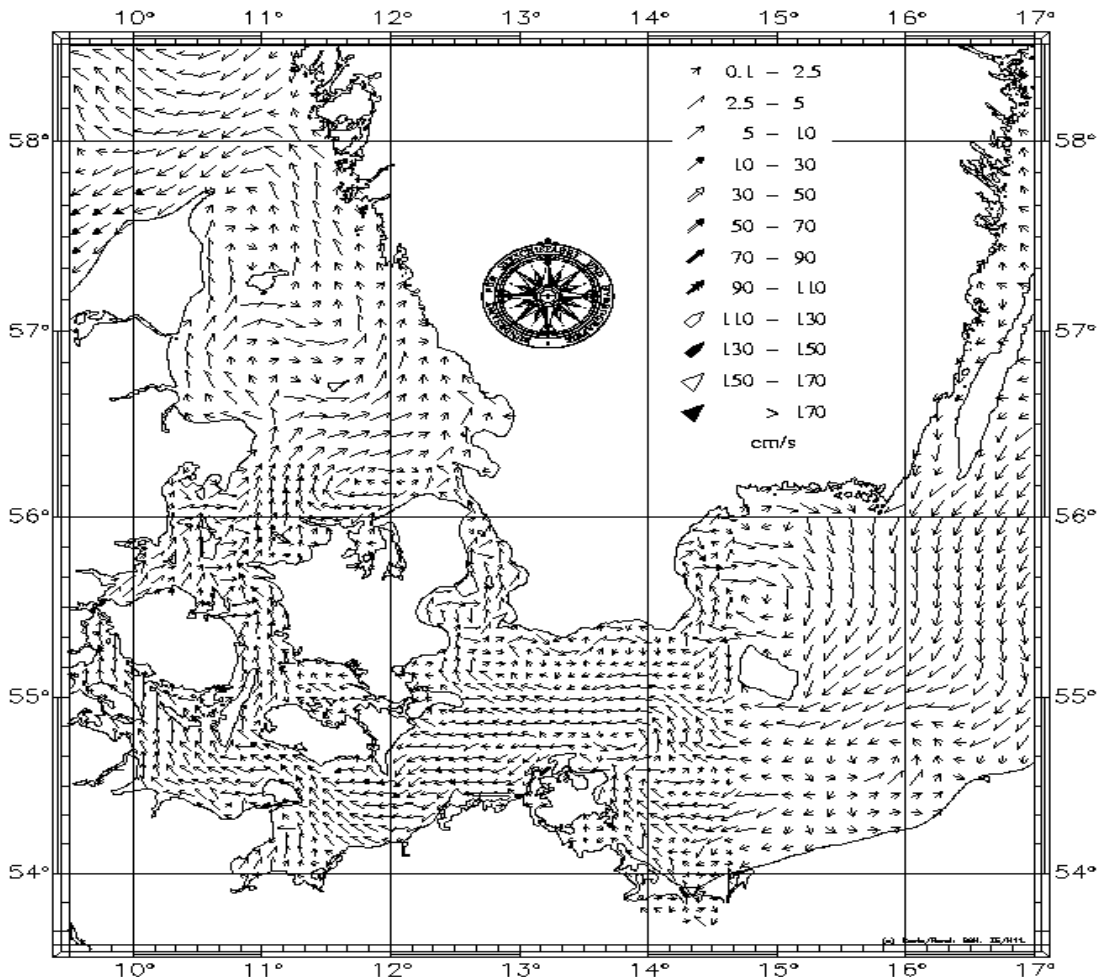


Mittlere Strömung am 30. 7.2001 1. Schicht (0– 8m)
 Mean Current on 30. 7.2001 1. Layer (0– 8m)

Das Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie übernimmt für die hier wiedergegebenen Informationen keine Gewähr.

BSH/H1/L01/30.07.2001.04.00.24

Abbildung 5.5: Mittlere Strömung am 30.07.2001 in der Schicht 0-8 m



Mittlere Strömung am 2. 8.2001 1. Schicht (0-8m)
 Mean Current on 2. 8.2001 1. Layer (0-8m)

Das Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie übernimmt für die hier wiedergegebenen Informationen keine Gewähr.

BSH/H1-L01.07.08 2001.04.00.24

Abbildung 5.6: Mittlere Strömung am 2.8.2001 in der Schicht 0-8 m