

# Messung der oberflächennahen Temperatur- und Salzgehaltsschichtung in zeitweise eisbedeckten Gebieten

Diplomarbeit  
von  
Gunda Wieczorek

Hamburg, November 2003

Diplomarbeit im Fach Ozeanographie  
vorgelegt dem Fachbereich Geowissenschaften  
der Universität Hamburg

Institut für Meereskunde, Universität Hamburg  
Tropowitzstr. 7, D-22529 Hamburg  
e-mail:gunda@bluecomment.de



# Zusammenfassung

Die Prozesse und Transporte, die im Zusammenhang mit der Frischwasserbalance stehen, spielen eine wichtige Rolle in der thermohalinen Zirkulation des Arktischen Ozeans. Ein großer Teil des südwärts verlaufenden Frischwassertransports spielt sich im Ostgrönlandstrom ab, der zusätzlich zum Wasser auch Eis transportiert.

Auf dem ostgrönländischen Schelf wurde im Jahr 2000 an zwei Orten (bei 63°N und 74°N) erstmals ein neuer Verankerungstyp zur Messung der Oberflächenschicht eingesetzt. Diese Verankerung besteht aus einem 40 m langen Kunststoffrohr, in das die Messgeräte eingebaut wurden, um sie vor der Beschädigung durch Eis zu schützen.

Nach einjähriger Auslegung wurde das Design des Rohres verändert. Die beiden verwendeten Rohrtypen werden hier miteinander verglichen und ihr Verhalten in der Strömung berechnet.

In dieser Arbeit wird anhand eines zweijährigen Datensatzes von Temperatur- und Salzgehaltsmessungen bei 74°N die Veränderung der Schichtung nahe der Oberfläche im Laufe des Jahres und ihr Zusammenhang mit der sich ändernden Eisbedeckung dargestellt. Die Ergebnisse der Verankerungen aus den Jahren 2000-2001 und 2001-2002 werden nicht nur untereinander, sondern auch mit den im genannten Zeitraum gewonnenen CTD-Daten verglichen.

In den Verankerungen, die dicht unter der Oberfläche lagen (Rohr 2 und Rohr 6) ist ein saisonaler Zyklus in den Temperatur- und Salzdaten zu finden. Deren Abhängigkeiten von der Eisbedeckung wurden in der Auswertung analysiert. Die Veränderungen der Temperaturen und Salzgehalte weisen Übereinstimmungen mit den Änderungen der Eisbedeckung auf. Somit kann die Schlussfolgerung gezogen werden, dass die Eisbedeckung Einfluss auf die Temperaturen und Salzgehalte an der Wasseroberfläche ausübt.

# Abstract

To get an overall understanding of the thermohaline circulation in the Arctic Ocean, the processes and transports related to the freshwater balance play an important part. A large part of the southward freshwater transport occurs in the form of ice and liquid water within the East Greenland Current.

In 2000 a new type of mooring, in which a long tube prevents damage of the instruments due to ice, was designed and deployed in two locations (63°N and 74°N) on the shelf in the East Greenland Current.

After the first year of deployment, the design of the tube has been changed. In this work the two types of moorings will be compared and their behaviour in the currents analysed and computed.

From a two year long record of temperature and salinity measurements, this work will show how the stratification near the surface at 74°N changes during the course of the year and how it relates to the changing ice distribution. The results gained from the years 2000-2001 and 2001-2002 will be compared, including mooring data aswell as CTD data.

A seasonal cycle was found in the temperatures and salinities of the moorings nearest to the surface, which were tubes No. 2 and 6. Connections between the temperature, salinity and ice cover were analyzed. Changes found in the upper sensors temperature and salinity agree well with changes in the ice cover, which implies the influence of the ice cover with the temperatures and salinities of the sea surface.

# Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	i
Abstract	ii
Inhaltsverzeichnis	iii
Abbildungsverzeichnis	vii
Tabellenverzeichnis	ix
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
<b>2 Der Ostgrönlandstrom</b>	<b>5</b>
2.1 Zirkulation in der Grönlandsee . . . . .	5
2.2 Topographie der Grönlandsee . . . . .	6
2.3 Wassermassen . . . . .	8
2.3.1 Polares Wasser . . . . .	8
2.3.2 Arktisches Zwischenwasser . . . . .	8
2.3.3 Atlantisches Wasser . . . . .	9
2.3.4 Arktisch-Atlantisches Wasser . . . . .	9
2.3.5 Rezirkulierendes Atlantisches Wasser . . . . .	10
2.3.6 Grönlandseetiefenwasser . . . . .	10
2.3.7 Norwegisches Tiefenwasser . . . . .	10
2.4 Volumentransport . . . . .	11
2.5 Strömungsfeld . . . . .	12
2.6 Eistransport und Eisdrift . . . . .	12
2.7 Saisonale Variabilität . . . . .	14

<b>3</b>	<b>Technik der Rohrverankerungen</b>	<b>15</b>
3.1	Beschreibung der Rohrtypen . . . . .	15
3.1.1	Rohr 2 . . . . .	15
3.1.2	Rohr 5 . . . . .	17
3.1.3	Rohr 6 . . . . .	20
3.2	Strömungsverhalten der Rohrverankerungen . . . . .	20
3.2.1	Berechnung der Anströmung der Rohre . . . . .	23
3.2.2	Diskussion . . . . .	29
<b>4</b>	<b>Daten und Methoden</b>	<b>31</b>
4.1	Beschreibung der Daten . . . . .	31
4.1.1	Eisdaten . . . . .	31
4.1.2	Verankerungsdaten . . . . .	31
4.1.3	Gezeiten von Rohr 5 und Rohr 6 . . . . .	33
4.1.4	CTD-Daten . . . . .	34
4.2	Methoden der Auswertung . . . . .	35
<b>5</b>	<b>Auswertung der Messergebnisse</b>	<b>37</b>
5.1	Auswertungen von Rohr 2 . . . . .	37
5.1.1	Temperatur von Rohr 2 . . . . .	41
5.1.2	Salzgehalt von Rohr 2 . . . . .	42
5.2	Auswertungen von Rohr 5 . . . . .	45
5.2.1	Druck von Rohr 5 . . . . .	46
5.2.2	Temperatur von Rohr 5 . . . . .	47
5.2.3	Salzgehalt von Rohr 5 . . . . .	49
5.3	Auswertungen von Rohr 6 . . . . .	50
5.3.1	Druck von Rohr 6 . . . . .	51
5.3.2	Temperatur von Rohr 6 . . . . .	53
5.3.3	Salzgehalt von Rohr 6 . . . . .	55
5.4	Eisbedeckung . . . . .	57
5.5	Auswertung der CTD-Daten der Jahre 2000-2002 . . . . .	61
5.5.1	CTD-Schnitte . . . . .	62

5.5.2 $\theta/S$ -Diagramme . . . . .	64
<b>6 Schlussfolgerungen</b>	<b>73</b>
Abkürzungsverzeichnis	79
Literaturverzeichnis	79
Danksagungen	86





# Abbildungsverzeichnis

2.1	Ozeanischen Zirkulation im Europäischen Nordmeer . . . . .	6
2.2	Topographie des Europäischen Nordmeeres . . . . .	7
3.1	Topographie des ostgrönländischen Schelfs mit Verankerungspositionen . . . . .	16
3.2	Skizze der Rohrverankerungen . . . . .	19
3.3	Verankerungs-Array zur Messung des Frischwassertransports . . .	22
3.4	Mittlere Höhe der Rohre bei Anströmung . . . . .	24
3.5	Mittlere Höhe der Rohre 5 (A) und 6 (B) bei Anströmung . . . .	25
3.6	Vergleich der mittleren Höhe der Rohre Nr. 2 und Nr. 5 bei Anströmung. . . . .	27
3.7	Strömungsgeschwindigkeit des ADCPs und Druck von Rohr 6 . .	27
3.8	Druck aufgetragen gegen die Strömungsgeschwindigkeit. Rohr 5 (A), Rohr 6 (B) . . . . .	28
4.1	Skizze zur Berechnung der fehlenden Drucke . . . . .	32
4.2	Amplituden-(A) und Phasengang(B) von Butterworth-Tiefpassfiltern	33
4.3	Frequenzspektrum des Druckes, Rohr 5 (A), Rohr 6 (B) . . . . .	34
5.1	Stationen Lance Fahrt 2001 . . . . .	38
5.2	Temperatur- und Salzgehaltsschnitt von Rohr 2 und Rohr 5. Temperatur (A), Salzgehalt (B) . . . . .	40
5.3	Temperaturzeitreihe von Rohr 2 . . . . .	42
5.4	Salzgehaltszeitreihe von Rohr 2 . . . . .	43
5.5	Druckzeitreihe von Rohr 5 . . . . .	47

5.6	Temperaturzeitreihe von Rohr 5 . . . . .	48
5.7	Salzgehaltszeitreihe von Rohr 5 . . . . .	50
5.8	Temperatur- und Salzgehaltsschnitt von Rohr 6. Temperatur (A), Salzgehalt (B) . . . . .	52
5.9	Druckzeitreihe von Rohr 6 . . . . .	54
5.10	Temperaturzeitreihe von Rohr 6 . . . . .	55
5.11	Salzgehaltszeitreihe von Rohr 6 . . . . .	56
5.12	Karten der Eisbedeckung von Oktober 2001 bis September 2002 .	58
5.13	Karte der Eisbedeckung. Auslegung Rohr 2 (A), Maximale Schich- tung Rohr 2 (B) . . . . .	60
5.14	Karte der Eisbedeckung. Beginn der Eisbildung, Oktober 2001 (A); Anstieg im Salzgehalt des oberen Sensors von Rohr 6 (B) . . . . .	60
5.15	Karte der Eisbedeckung. Beginn der Eisschmelze, Juni 2002 (A); Ende der Aussüßung, Juli 2002 (B) . . . . .	61
5.16	Temperatur- und Salzgehaltsschnitt im September 2000. Tempe- ratur (A), Salzgehalt (B) . . . . .	67
5.17	Temperaturschnitt im September 2001 und 2002. September 2001 (A), September 2002 (B) . . . . .	68
5.18	Salzgehaltsschnitt im September 2001 und 2002. September 2001 (A), September 2002 (B) . . . . .	69
5.19	$\theta/S$ -Diagramm des CTD-Schnitts September 2002 . . . . .	70
5.20	$\theta/S$ -Diagramme der CTD-Schnitte September 2001 und 2002. Sep- tember 2001 (A), September 2002 (B) . . . . .	71

# Tabellenverzeichnis

2.1	Geschätzte Minimumtransporte des Ostgrönlandstroms im Winter 1965 . . . . .	11
3.1	Verankerungspositionen der Rohre und des ADCPs . . . . .	18
5.1	Minimale und maximale gefilterte Temperaturen und Salzgehalte der Rohrverankerungen . . . . .	44



# Kapitel 1

## Einleitung

Der Ostgrönlandstrom (EGC) verläuft von der Framstraße bis zur Dänemarkstraße zwischen  $80^{\circ}\text{N}$  und  $60^{\circ}\text{N}$ , durch das Europäische Nordmeer. Er transportiert Wasser und Eis vom Arktischen Ozean und dem Europäischen Nordmeer in den Atlantik. Für Wassermassen, die im Grönlandseewirbel rezirkulieren, verhält sich der EGC als westlich verstärkter südwärtiger Randstrom. Der Grönlandseewirbel ist eines der wichtigsten Gebiete, in dem durch Konvektion (Wechselwirkung zwischen Atmosphäre und Ozean) Tiefenwasser gebildet wird. Durch das Abkühlen von warmen Atlantischen Wasser in der Grönlandsee wird Wärme an die Atmosphäre abgegeben. Die Ozeanische Konvektion wirkt als einer der Antriebsmechanismen der globalen thermohalinen Zirkulation (THC), auch Conveyor-Belt Zirkulation (Broecker, 1991) genannt. Die wichtigsten Konvektionsgebiete, die zur Conveyor-Belt Zirkulation beitragen, sind die Labrador-, Grönland-, Weddellsee, Rossmeer, sowie das europäische Mittelmeer. Nur in diesen Gebieten hat das Tiefenwasser Kontakt zur Atmosphäre, wodurch u.a. Gase und Schadstoffe durch Konvektion in tiefere Regionen transportiert werden können.

Warmes Atlantisches Wasser wird mit dem Nordatlantischen Strom (NAC) nach Norden bis in den Arktischen Ozean transportiert, wird dort abgekühlt und fließt im Ostgrönlandstrom (EGC) als kaltes, salzarmes Wasser wieder in den Atlantik zurück. Aus den Wassermassen, die über die Schwellen der Dänemarkstraße in den Atlantik gelangen, wird dichtes, kaltes Nordatlantische Tiefenwasser (NADW)

gebildet, welches als Teil des tiefen westlichen Randstroms (DWBC) Richtung Süden fließt. Der DWBC fließt dicht am amerikanischen Kontinent entlang. Das in der Weddell und im Rossmeer gebildete sehr dichte Antarktische Bodenwasser (AABW) wird u.a. über den Zirkumpolarstrom in den Indischen und Pazifischen Ozean transportiert, wo es aufsteigt und als warmes Oberflächenwasser durch das Indonesische Archipel und den Agulhasstrom in den Pazifik, bzw. Atlantik transportiert wird.

In den Konvektionsgebieten wird im Sommer durch erhöhten Frischwassereintrag aufgrund von Eisschmelze und Süßwasserzufluss von Land her der Oberfläche ein sogenannter Frischwasserdeckel aufgesetzt. Dieser verstärkt dadurch die Schichtung oberhalb der Sprungschicht. Dies führt dazu, dass im Sommer die Konvektion unterbunden wird. Erst mit dem Einsetzen der Herbststürme wird die Oberflächenschicht wieder stark durchmischt. Durch die Abkühlung wird somit die Eisbildung initiiert. Wenn die Oberfläche nicht zu stark ausgesüßt wurde, kann tiefe Konvektion stattfinden (Aagaard und Carmack, 1989).

Durch die Eisbildung wird Salz an das Umgebungswasser abgegeben, was dessen Salzgehalt steigen lässt. Aufgrund sinkender Temperaturen und sich erhöhenden Salzgehalten setzt die Konvektion wieder ein. In der offenen Grönlandsee wird im Winter Atlantisches Wasser (AW) an der Oberfläche abgekühlt und bildet durch Konvektion das Atlantische Zwischenwasser (AIW). Die thermohaline Zirkulation reagiert sensibel auf erhöhte Frischwassereinträge in das Europäische Nordmeer (Mauritzen und Häkkinen, 1997), was zu Auswirkungen auf die globale Conveyor-Belt Zirkulation führen kann. Kleine Änderungen des Frischwassereintrag in die Konvektionswirbel können die Konvektion sogar zum Erliegen bringen (Aagaard und Carmack, 1989).

In dieser Arbeit soll die saisonale Variabilität im EGC, bzw. auf dem ostgrönländischen Schelf untersucht werden. Da die Aussüßung der Oberflächenschicht im Sommer starke Auswirkungen auf die Konvektion in dieser Region hat, tragen die Untersuchungen zum Verständnis der Prozesse in der globalen thermohalinen Zirkulation bei. Auf dem ostgrönländischen Schelf wurden seit 2000 Verankerungen eines speziellen Typs ausgelegt. Die Verankerungen bestehen hauptsächlich

aus einem 40 m langen Kunststoffrohr, in das die Messgeräte zum Schutz gegen die Zerstörung durch Eis eingebaut sind. Die Messgeräte sollen Temperaturen und Salzgehalte in der Oberflächenschicht auf dem Schelf messen. Untersucht wurden die Daten aus einer zweijährigen Zeitreihe, die von September 2000 bis September 2002 reichte. Im Jahr 2000 wurde ein Rohr auf dem Schelf bei 74°N für ein Jahr ausgelegt, nach der Aufnahme wurden an beinahe derselben Stelle zwei Rohre ausgelegt. Um den Zusammenhang mit dem Frischwassereintrag zu untersuchen, wurden die Zeitreihen der Temperatur und des Salzgehaltes mit CTD-Messungen und der Eisbedeckung verglichen.





# Kapitel 2

## Der Ostgrönlandstrom

### 2.1 Zirkulation in der Grönlandsee

Warmes Atlantisches Wasser (AW) fließt aus dem Atlantik über den Grönland-Schottland-Rücken mit dem Nordatlantikstrom (NAC), hier auch Norwegenstrom genannt, in Richtung Spitzbergen, siehe Abb. 2.1. Dieser Einstrom Atlantischen Wassers wird von Worthington (1970) und McCartney und Talley (1984) mit 5-8 Sv ( $1\text{ Sv} = 10^6\text{ m}^3\text{ s}^{-1}$ ) angegeben. Der NAC teilt sich auf der Höhe der Barentssee. Ein Teil fließt in die Barentssee, der andere Teil des Stroms fließt als Westspitzbergenstrom (WSC) Richtung Framstraße, wo er sich erneut teilt. Ein kleiner Teil (1 Sv, Bourke et al. (1988)) des AW tritt in den Arktischen Ozean ein, der größere Teil rezirkuliert auf verschiedenen Wegen innerhalb desselben und gelangt als Teil des Ostgrönlandstroms (EGC) wieder nach Süden (Arctic Atlantic Water, AAW) (Quadfasel und Meincke, 1987). Ein Teil des Atlantischen Wassers rezirkuliert in der Framstraße (rezirkulierendes Atlantisches Wasser, rAW) und fließt dann mit dem Ostgrönlandstrom wieder nach Süden. Durch die Framstraße gelangt sehr kaltes salzarmes Polares Wasser (PW) zusammen mit Eis aus dem Arktischen Ozean in die Grönlandsee. Das PW und rAW fließen südwärts als Teil des Ostgrönlandstroms durch die Dänemarkstraße in den Nordatlantik. Im Grönlandsee- und Islandseewirbel wird Arktisches Zwischenwasser (AIW) gebildet, welches sich dann in den Randstrom einmischt. Das AIW ist das schwerste Wasser, was noch über die Schwellen in den Nordatlantik gelangen kann und bildet

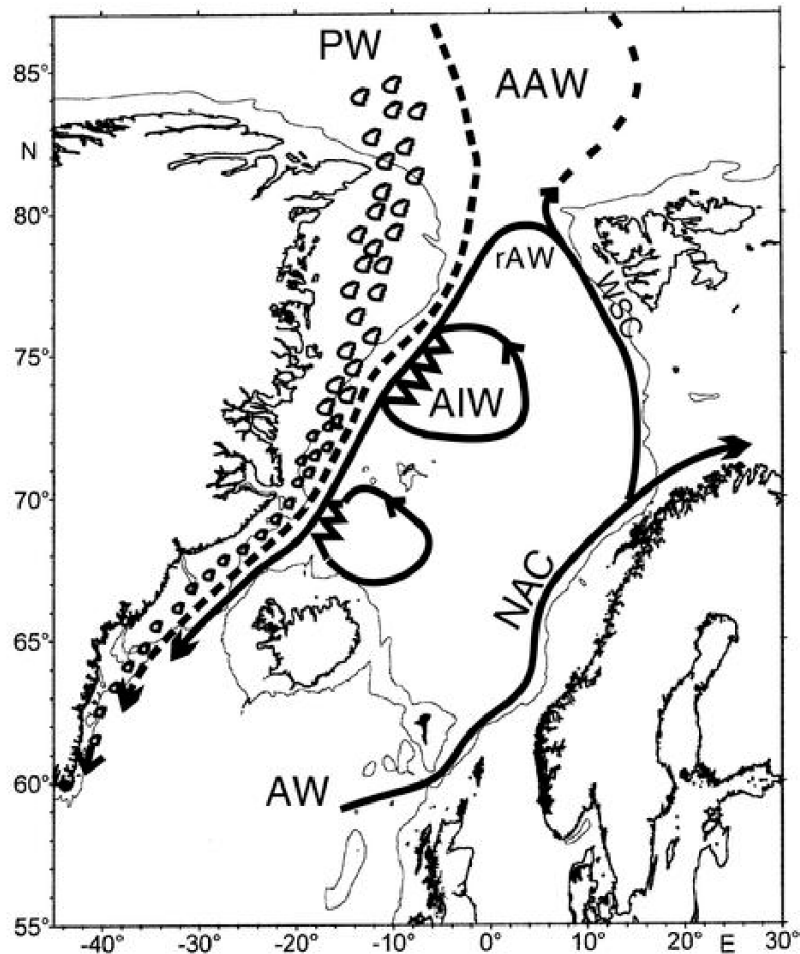


Abbildung 2.1: Schema der ozeanischen Oberflächenzirkulation im Europäischen Nordmeer. AW= Atlantisches Wasser, NAC= Nordatlantikstrom, WSC= Westspitzbergenstrom, AAW= Arktisch-Atlantisches Wasser, rAW= rezirkulierendes Atlantisches Wasser, PW= Polares Wasser, AIW= Arktisches Zwischenwasser, aus SFB 512, Teilprojekt C4, IfM Hamburg.

zusammen mit dem rAW, AAW und dem unteren Polaren Tiefenwasser (uPDW) im Atlantik das Dänemarkstraßen Overflow-Wasser (DSOW), siehe Rudels et al. (2002).

## 2.2 Topographie der Grönlandsee

Das Arktische Mittelmeer faßt den Arktischen Ozean mit dem Europäischen Nordmeer zusammen (Sverdrup et al., 1942). Das Europäische Nordmeer besteht

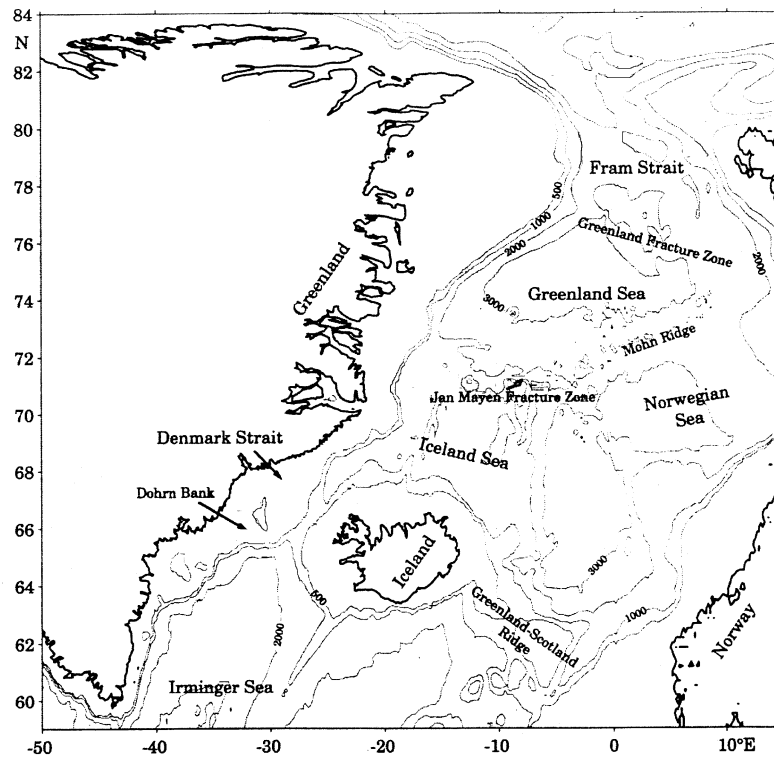


Abbildung 2.2: Topographie des Europäischen Nordmeeres, nach Rudels et al. (2002).

aus der Grönland-, der Island- und der Norwegensee (GIN-Sea), siehe Abb. 2.2. Die GIN-Sea ist eine wichtige Produktionsstätte für das Nordatlantische Tiefenwasser (NADW), welches seine Quelle im Tiefenwasser hat, das über den Grönland-Schottland-Rücken und über die 640 m tiefe Dänemarkstraße zwischen Grönland und Island in den Atlantik gelangt.

Im nördlichen Teil der Grönlandsee kann der Kontinentalschelf eine Breite von bis zu 300 km erreichen. Nördlich von  $77^{\circ}30'N$  besteht der Schelf aus einem System von Banken. Bei  $75^{\circ}N$  wird das Schelf deutlich schmaler und ändert im wesentlichen seine Breite bis zur Dänemarkstraße nicht mehr (Aagaard und Coachman, 1968). Südlich von  $79^{\circ}N$  besteht die Grönlandsee aus zwei Tiefseebecken. Sie wird im Westen vom Kontinentalschelf begrenzt und im Osten vom Mittelatlantischen Rücken. Im Norden grenzt die Grönlandsee an die Grönland-Spitzbergen-Schwelle, die sie vom Arktischen Ozean trennt. Die südliche Begrenzung der Grönlandsee ist die Jan-Mayen-Bruchzone. Die Islandsee beginnt südlich der Jan-Mayen-Bruchzone und ist westlich durch Grönland und südlich durch Is-

land begrenzt. Die Norwegensee beginnt östlich des Mittelatlantischen Rückens und erstreckt sich im Norden bis zur Framstraße.

## 2.3 Wassermassen

### 2.3.1 Polares Wasser

$$\theta < 0^{\circ}\text{C}; \quad S < 34,5; \quad \sigma_{\theta} \leq 27,70$$

Das Polare Wasser (PW) ist mit Temperaturen geringer als  $0^{\circ}\text{C}$  und Salzgehalten geringer als 34,5 an der Oberfläche des EGC und auf dem ostgrönländischen Schelf zu finden. Es breitet sich auch auf dem ostgrönländischen Schelf aus und reicht bis in Tiefen von 200 m. In der Nähe der Polarfront (EGPF) bildet das warme rezirkulierende Atlantische Wasser (rAW) an der Oberfläche eine östliche Barriere, sodass das PW nicht weiter nach Osten vordringen kann. Die EGPF ist ein Bereich zwischen  $7^{\circ}\text{W}$  und  $9^{\circ}\text{W}$ , der das kalte, salzarme PW klar von dem warmen, salzreichen Atlantischen Wasser (AW) trennt (Schlichtholz und Housais, 2002). Am dichtesten ist das Polare Wasser an der EGPF, wo es über dem Arktischen Zwischenwasser (AIW) liegt und bis in Tiefen von 175 m reicht (Bourke et al., 1987). Das PW gelangt aus dem Arktischen Ozean durch die Framstraße in den EGC und fließt aus der Grönlandsee durch die Dänemarkstraße, in den Nordatlantik.

### 2.3.2 Arktisches Zwischenwasser

$$\theta = 0 - 3^{\circ}\text{C}; \quad S = 34,5 - 34,9; \quad \sigma_{\theta} > 27,97; \quad \sigma_{0,5} < 30,444$$

Die Temperaturen des Arktischen Zwischenwassers (AIW) können von 0 bis  $3^{\circ}\text{C}$  reichen und der Salzgehalt nimmt Werte zwischen 34,5 und 34,9 an. Das AIW wurde von Bourke et al. (1987) über den tieferen Bereichen des Schelfs und in der Region der EGPF bis maximal 800 m Tiefe gefunden. Bourke et al. (1987) sprechen von Atlantischem Zwischenwasser, wie zuvor auch schon Aagaard und Coachman (1968). Mittlerweile hat sich der Begriff Arktisches Zwischenwasser eingebürgert. Weiter östlich in der Grönlandsee, zwischen dem WSC und dem EGPF, liegt das AIW in der oberen Schicht des Ozeans. In der Front und west-

lich davon befindet sich das AIW unterhalb des PW. Das AIW entsteht durch winterliche Abkühlung und Konvektion von AW in den arktischen Regionen und bildet sich hauptsächlich im Grönland- und Islandseewirbel (Swift, 1986). Es ist das schwerste Wasser, welches die Schwellen der Dänemarkstraße passieren kann und welches dann Teil des DSOW wird. Generell wird zwischen oberem- und unterem Arktischem Zwischenwasser unterschieden. Das untere AIW liegt direkt über dem Tiefenwasser (DW) und wird in der zentralen Grönlandsee gebildet. Das obere AIW wird im Winter an der Wasseroberfläche gefunden, wogegen es im Sommer von Arktischem Oberflächenwasser (ASW) überlagert wird (Swift und Aagaard, 1981).

### 2.3.3 Atlantisches Wasser

$$\theta = 6 - 8^{\circ}\text{C}; \quad S = 35,1 - 35,3; \quad \sigma_{\theta} \geq 27,7; \quad \sigma_{0,5} < 30,444$$

Atlantisches Wasser (AW) hat Temperaturen zwischen 6 und 8°C und Salzgehalte von 35,1 bis 35,3 wenn es in die Island- und Norwegensee strömt. Die Dichteangabe ist Grotefendt (1998) entnommen. Es gibt einige andere Wassermassen, die eine klare Verbindung mit dem AW haben, aber kälter und salzärmer sind. Deshalb wurde die Definition von AW erweitert. Als AW zählen Wassermassen, die eine Temperatur oberhalb von 3°C und einen höheren Salzgehalt als 34,9 aufweisen (Swift und Aagaard, 1981). Der Teil des AW, welcher in die südwestliche Islandsee eintritt, bleibt eng am isländischen Kontinentalschelf bis er auf der Höhe von ca. 66°40'N in südwestliche Richtung abdreht und um Island herum fließt (nicht in Abb. 2.1 eingezeichnet). Er verläßt die Islandsee wieder ohne in die zentrale Islandsee zu gelangen bzw. dort zur Wassermassenbildung beizutragen (Swift und Aagaard, 1981).

### 2.3.4 Arktisch-Atlantisches Wasser

$$\theta < 2^{\circ}\text{C}; \quad S < 34,68; \quad 27,70 < \sigma_{\theta} \leq 27,97; \quad \text{wenn } \theta < 0^{\circ}\text{C}, \text{ dann gilt für}$$
$$S < 34,676 + 0,232\theta$$

Die Temperaturen des Arktisch-Atlantischen Wassers (AAW) sind geringer als 2°C und die Salzgehalte geringer als 34,68. Das AAW ist eine Wassermasse, die

aus AW gebildet wird und als Teil des WSC in den arktischen Ozean strömt. Dort zirkuliert es und gelangt auf unterschiedlichen Pfaden durch die Framstraße als Teil des Ostgrönlandstroms wieder nach Süden.

### 2.3.5 Rezirkulierendes Atlantisches Wasser

$$\theta > 2^{\circ}\text{C}; S = 34,9 - 35,0; 27,70 < \sigma_{\theta} \leq 27,97$$

Das rezirkulierende Atlantische Wasser (rAW) geht aus AW hervor, welches aus dem WSC zwischen 75°N und 80°N rezirkuliert (siehe Abb. 2.1) und als Teil des EGC in Richtung Süden fließt (Fogelqvist et al., 2003). Das rAW hat eine maximale Schichtdicke von ca. 400 m und liegt innerhalb von 50 km am Schelfrand Grönlands (Oliver und Heywood, 2003). Rudels et al. (2002) nehmen an, dass das rAW bis zum Schelfhang durchdringt und sich dort mit dem AAW vermischt.

### 2.3.6 Grönlandseetiefenwasser

$$\theta < 0^{\circ}\text{C}; S = 34,88 - 34,90; \sigma_3 = 42,051$$

Das Grönlandsee Tiefenwasser (GSDW) ist die dichteste Wassermasse in der Grönlandsee. Die Temperaturen liegen unter 0°C, typischerweise zwischen -1,1 und -1,3°C und die Salzgehalte zwischen 34,88 und 34,90. Das GSDW kommt ausschließlich im Grönlandseewirbel vor und ist auf dem Schelf nicht vorzufinden. Zusammen mit dem Norwegischen Tiefenwasser (NSDW) dominiert das GSDW im Europäischen Nordmeer, da sie zusammen etwa 70% des gesamten Volumens der Wassermassen im Europäischen Nordmeer einnehmen (Swift, 1986).

### 2.3.7 Norwegisches Tiefenwasser

$$\theta \sim -1,03^{\circ}\text{C}; S \sim 34,92; \sigma_3 = 42,035$$

Das NSDW ist mit einer Temperatur von ungefähr -1,03°C und einem Salzgehalt von 34,92 die dichteste Wassermasse in der Norwegen- und Islandsee, und deshalb vorwiegend in Tiefen ab 2500 m anzutreffen (Fogelqvist et al., 2003). Es ist auch an der Peripherie der Grönlandsee zu finden. Der Salzgehalt liegt mit 34,92 etwas höher als beim GSDW (Swift, 1986).

## 2.4 Volumentransport

Aagaard und Coachman (1968) haben den Volumentransport des EGC gemessen. Die Messungen wurden im späten Winter zwei Monate lang mit der Eisinsel Arlis II durchgeführt, die von  $78^\circ\text{N}$  bis  $69^\circ\text{N}$  südwärts gedriftet ist. Arlis II driftete immer entlang der 1000 m Tiefenlinie, also über dem Schelfhang. Aagaard und Coachman (1968) listeten den Volumentransport für die verschiedenen Wassermassen einzeln auf, hier in Tab. 2.1 dargestellt. Für das PW wurde die  $0^\circ\text{C}$  Isotherme als untere Grenze herangezogen, für das AIW die 900 m Tiefenlinie. Vom Gesamttransport über die 1000 m Tiefenlinie in Richtung Schelf verlaufen 80% des AIW und 50% des PW zwischen  $72^\circ30'\text{N}$  und  $70^\circ30'\text{N}$ . Als östliche Grenze des EGC wird die  $0^\circ\text{C}$  Oberflächen-Isotherme angenommen.

Chaplygin (1959) und Laktionov et al. (1960) gaben an, dass der Transport des EGC während des Winters durch den Einfluß von starken nördlichen Winden wesentlich stärker ist als im Sommer, allerdings ohne dies zu beweisen.

Vorangegangene Messungen mit Strömungsmessern zeigten, dass die Strömung des EGC bei  $75^\circ\text{N}$  größer ist als nördlich davon in der Framstraße und südlich davon in der Dänemarkstraße (Fahrbach et al., 1995). Woodgate et al. (1999) veranschlagen hierfür einen mittleren Jahrestransport von  $21 \pm 3$  Sv, der zwischen Sommer (11 Sv) und Winter (37 Sv) sehr stark variiert. Transportmaxima wurden im Januar und März mit  $37 \pm 5$  Sv gemessen.

<i>Wassermassen</i>	<i>Volumentransport über die 1000 m Tiefenlinie in Sv (<math>10^6\text{m}^3\text{s}^{-1}</math>)</i>
Polares Wasser (PW)	7.7
Atlantisches Zwischenwasser (AIW)	21.3
Tiefenwasser	2.5
Gesamt	31.5

*Tabelle 2.1: Geschätzte Minimumtransporte des Ostgrönlandstroms im Winter 1965, nach Aagaard und Coachman (1968).*

## 2.5 Strömungsfeld

Der Ostgrönlandstrom verläuft, wie in Abb. 2.2 zu sehen ist, zwischen 80°N (Framstraße) und 60°N (Dänemarkstraße) hauptsächlich am Schelfhang entlang. Für die im Grönlandseewirbel rezirkulierende Wassermassen verhält sich der EGC als westlich verstärkter südwärtiger Rückfluß (western intensified southward return flow, Woodgate et al. (1999)). Woodgate et al. (1999) haben den EGC mit fünf Verankerungen bei 75°N über eine Breite von 140 km, von 14°W bis 7°30'W ein Jahr lang überwacht und daraufhin die östliche Grenze bei 9°W festgelegt. Der Kern des EGC liegt direkt über dem Schelfhang. Im Winter bewegt er sich aber mehr den Schelfhang hinauf. An der Oberfläche und am Boden verstärkt sich die Strömung des EGC einerseits durch den Wind und andererseits durch am Boden gefangene topographischen Rossby-Wellen (Rhines, 1970), mit größeren Strömungsgeschwindigkeiten an der Oberfläche. Das Jahresmittel der Strömungsgeschwindigkeit an der Oberfläche liegt bei 24 cm/s und das der Strömungsgeschwindigkeit am Boden liegt bei 6 - 10 cm/s. Der Strom fließt nach Süden, entlang der Tiefenlinien. Im Sommer 1993 hatte die östlichste Verankerung (bei 7°38'W) von Woodgate et al. (1999) einen nordwärtigen Strom gemessen.

## 2.6 Eistransport und Eisdrift

Der Eisexport aus dem Arktischen Ozean durch den Ostgrönlandstrom in den Atlantik ist ein wichtiger Teil des Frischwasserbudgets der Grönlandsee und des Nordatlantiks (Aagaard und Carmack, 1989). Der gesamte meridionale Eistransport ist ein Produkt aus Eisausdehnung, Eisdrift und der mittleren Eisdicke.

Bei der Berechnung des Eistransports wird der Wert für die Eisdicke meistens geschätzt, da es nur sehr wenige Messungen gibt. Aus der Kombination der Eisausdehnung und der Eisgeschwindigkeit wird der Transport im jeweiligen Gebiet berechnet.

Vinje et al. (1998) haben für die Framstraße bei 79°N, ein mittleres Maximum der Eisdicke im April von 3,36 m gemessen und ein mittleres Minimum im September von 2,25 m. Im mittleren Minimum wurde das offene Wasser für die Berechnung



mit einbezogen.

Die Eisdriftgeschwindigkeiten wurden von Martin und Wadhams (1999) für die Jahre 1993 und 1994 berechnet. In den beiden Jahren war die Eisausbreitung, mit einer maximalen Ausdehnung im EGC von Januar bis März, geringer als im Langzeitmittel. Eine große Eisausbreitung hat kleine Driftgeschwindigkeiten zur Folge. Diese kommen im Winter entlang der Küste zwischen  $75^{\circ}\text{N}$  und  $81^{\circ}\text{N}$  vor. Die Eisschicht ist dort sehr solide.

Die meridionale Geschwindigkeitskomponente ist im Sommer sehr klein. Im Herbst ist sie am größten, da starke nördliche Winde die Driftgeschwindigkeit aufgrund der vorherrschenden Großwetterlage beschleunigen. Bei geringer Eisbedeckung hat der Wind gute Angriffsmöglichkeiten auf die einzelnen Eisschollen. Zwischen  $70^{\circ}\text{N}$  und  $76^{\circ}\text{N}$  werden die höchsten mittleren Geschwindigkeiten erreicht, obwohl einzelne Höchstgeschwindigkeiten eher im nördlichen Teil zu verzeichnen sind.

Harder et al. (1998) haben den saisonalen Eistransport durch die Framstraße und seine jährlichen Änderungen mit einem thermodynamisch-dynamischen Eismodell für die Jahre 1986 bis 1992 berechnet. Für diese Periode erzielte das Modell einen mittleren jährlichen Eisfluß von  $0,0855 \text{ Sv}$  und eine sich um Faktor zwei ändernde jährliche Variabilität. Der Eistransport erreicht sein erstes Maximum im November/Dezember und sein zweites Maximum im März, mit Werten von ca.  $0,14 \text{ Sv}$ . Das saisonale Minimum wird im August erreicht, dann ist der Eistransport zu vernachlässigen. Der Volumentransport des Eises wurde von Martin und Wadhams (1999) mit  $1530 \text{ km}^3 \text{ a}^{-1}$  für das Jahr 1994 berechnet. Dieser fällt wesentlich kleiner aus als bei Vinje et al. (1998), die aus Eisdickenmessungen mit Upward Looking Sonars (ULS) für den Transport durch die Framstraße einen Wert von  $2850 \text{ km}^3 \text{ a}^{-1}$  ermittelt hatten. Mit Hilfe einer numerischen Simulation haben Harder et al. (1998) einen Eisvolumentransport von  $2696 \text{ km}^3 \text{ a}^{-1}$  berechnet. Die Simulation zeigt ein Maximum von Oktober bis Dezember und kleinere Werte im Transport von Januar bis März.

## 2.7 Saisonale Variabilität

Woodgate et al. (1999) haben in ihrer Arbeit einen starken saisonalen Zyklus des EGS am Schelfhang bzw. in unmittelbarer Nähe gemessen, der seinen stärksten Fluss im Winter hat. Für Januar und März wurden Spitzen im Transport von  $37 \pm 5$  Sv gemessen, die wahrscheinlich auf Spitzenwerte in den Windstress-Daten zurückgeführt werden können. Im Januar und März wurden zwei unabhängige Kerne des EGC gemessen, die phasenweise verschmelzen. Ein Kern befindet sich an der Schelfkante und einer über dem Kontinentalhang.

Woodgate et al. (1999) vermuten, dass der saisonale Zyklus im Grönlandseewirbel gefangen ist, da es in der Fram- und Dänemarkstraße kaum saisonale Variabilität gibt. Als lokale Kräfte kommen Wärme, Niederschlag und Windstress in Frage.

Im Winter bildet sich Eis durch Abkühlung. Zwei Drittel des Salzes werden bei den Prozessen der Eisbildung dem Umgebungswasser sofort wieder hinzugefügt. Dieser Prozeß spielt eine signifikante Rolle für die Bildung von unterem AIW. Generell hängt die Oberflächentemperatur (SST) von der Eiskonzentration in den eisbedeckten Regionen des zentralen Arktischen Ozeans ab, dort, wo die Sonneneinstrahlung und atmosphärische Wärme von der eisfreien Oberfläche gut absorbiert wird. Nicht nur die saisonale Variabilität der Temperatur sondern auch die des Salzgehaltes hängt von der Eiskonzentration ab. Polyakov et al. (1999) haben den saisonalen Zyklus für den zentralen Arktischen Ozean und die Grönlandsee simuliert. Die simulierte Wassertemperatur erreicht in den oberen 50 m ihr Maximum im August und ihr Minimum im Mai. Im Winter ist die SST des Arktischen Ozeans nahe dem Gefrierpunkt. Der saisonale Zyklus des simulierten Salzgehaltes im Arktischen Ozean wird von der jährlichen Änderung der Eismasse bestimmt, mit einem Minimum im Salzgehalt im September und einem Maximum im Mai. Polyakov et al. (1999) haben eine Tendenz festgestellt, dass das saisonale Signal schwächer wird, sobald sich die Eisbedeckung erhöht.

# Kapitel 3

## Technik der Rohrverankerungen

### 3.1 Beschreibung der Rohrtypen

Im Jahr 2000 wurden erstmals Verankerungen auf dem ostgrönländischen Schelf (Abb. 3.1) ausgelegt, um dort in der Oberflächenschicht einen möglichen saisonalen Zyklus in Temperatur und Salzgehalt zu messen. Diese Region ist den größten Teil des Jahres eisbedeckt, sodass Verankerungen, die sich dicht unter der Oberfläche befinden, von driftenden Eisbergen zerstört werden können. Um dies zu verhindern, wurden im Jahr 2000 Prototypen einer Rohrverankerung bei 63°N und 74°N ausgelegt. Die beiden ersten Kunststoffrohre (Nr. 1 und Nr. 2) waren 43,2 m lang und 31,5 cm vom Durchmesser. Während des ersten Auslegejahres wurde ein neuer Rohrtyp entwickelt. Der nachfolgende Typ hat einen geringeren Durchmesser und ist kürzer (Länge 40 m, Breite 22 cm), außerdem wurde die Verschraubungstechnik verändert und die Löcher im Rohr zur besseren Umströmung der Sensoren vergrößert. Die ersten beiden Rohre sind nach ca. der Hälfte der Auslegungszeit (6 Monate) in der Mitte zerbrochen, während sich der nachfolgende Rohrtyp bewährt hat.

#### 3.1.1 Rohr 2

Rohr 2, das im September 2000 ausgelegt und ein Jahr später wieder geborgen wurde, hatte in beiden Geräten (Microcats SBE37) keinen Drucksensor eingebaut. Das Rohr war 43,2 m lang und hatte seine Sensoren von der Oberfläche in die

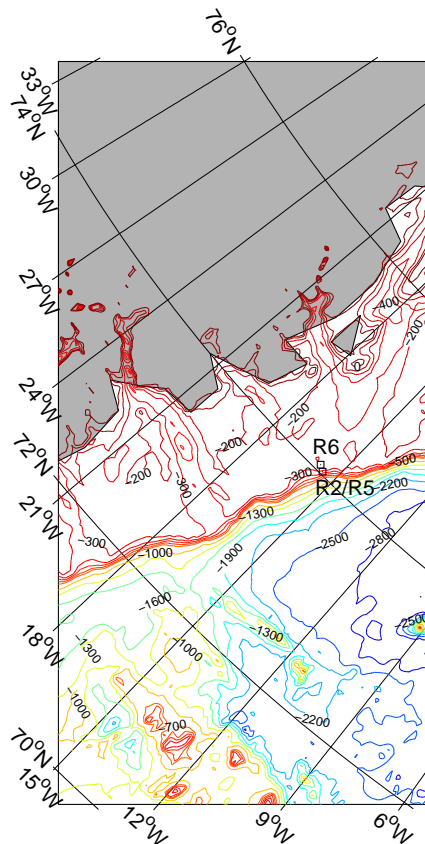


Abbildung 3.1: Karte der Topographie des ostgrönländischen Schelfs mit den Positionen der Rohrverankerungen R2/R5 und R6.

Tiefe gehend betrachtet bei ca. 41 und 84 m Wassertiefe eingebaut. In der Auswertung soll die wahre Tiefe der Instrumente ermittelt werden. Der Durchmesser des Rohres betrug 31,5 cm, die Wassertiefe ca. 320 m und die Seillänge 230 m. In den Rohrverankerungen wurden drei verschiedene Auftriebstypen eingesetzt: Glaskugeln, Fischerkugeln und Benthoskugeln. Innerhalb der Rohre 1 und 2 wurden Glaskugeln mit einem Durchmesser von 25,4 cm und einem Einzelauftrieb von 5,17 kg verwendet, in den nachfolgenden Rohrtypen wurden Fischerkugeln aus Kunststoff mit einem Einzelauftrieb von 3,23 kg verwendet. Fischerkugeln werden normalerweise an Fischernetzen zur Markierung des Netzes eingesetzt. Der Auftrieb für den Auslöser bestand aus Glaskugeln mit einer Kunststoffummantelung der Firma Benthos, deshalb auch Benthoskugeln genannt. Benthoskugeln haben einen Durchmesser von 43,18 cm und einen Einzelauftrieb von 23 kg.

Die Glaskugeln in Rohr 2 erreichten einen Gesamtauftrieb von 258,4 kg. Das

Rohr bestand aus acht Segmenten, jedes mit einer Länge von 5,4 m. Das unterste, mit dem Seil verbundene Segment, wurde als Nr. 1 bezeichnet, das oberste, in Richtung Wasseroberfläche zeigende, mit Nr. 8. Im ersten Segment sorgten 13 Glaskugeln für Auftrieb, im zweiten 15 Glaskugeln, im vierten 9 und im achten 13 Glaskugeln. Die Messgeräte befanden sich im ersten und achten Segment, die übrigen Segmente waren leer.

Das Auseinanderbrechen des Rohres in zwei Teile ist auf die Bewegung in der Strömung zurückzuführen, da die mechanische Belastung auf die Schrauben zu groß war. An der Außenseite des Rohr war eine Sicherheitsleine angebracht, so dass die beiden Rohrteile nicht auseinanderdriften konnten und somit nur leicht versetzt waren. Durch den Auftrieb im Rohr wurde auch weiterhin für eine aufrechte Lage der Rohrteile gesorgt. Diese Erfahrungen sind von Rohr 1 gewonnen worden, das in der Dänemarkstraße bei 63°N mit zwei Drucksensoren ausgestattet war. Man kann davon ausgehen, dass sich die beiden Rohre identisch verhalten haben. In den Temperaturdaten von Rohr 2 konnten keine größeren Abweichungen festgestellt werden, die auf eine veränderte Lage des Rohres hätten hinweisen können.

### 3.1.2 Rohr 5

Alle ab 2001 eingesetzten Rohre sind von der Grundbauweise gleich, auch die auf dem Schelf bei 63°N (Dänemarkstraße) ausgelegten. Die Abb. 3.2 stellt den Aufbau der Rohrverankerungen als Skizze dar, wie sie auch für die Auslegung benutzt wird. An den beiden Enden des Rohres sind je zwei Microcats vom Typ SBE37 eingebaut. Einige Rohre in der Dänemarkstraße haben zusätzlich noch ein drittes Microcat in der Mitte des Rohres und einen Strömungsmesser der Firma Valeport 30 m unterhalb des Rohres eingebaut. Die Rohre bestehen aus 8 Teilstücken von je 5 m Länge. Außen am Rohr verbindet eine Sicherheitsleine die beiden Enden miteinander. Am Ende des Seils befinden sich drei Benthoskugeln mit insgesamt 69 kg Auftrieb für den Auslöser. Zwischen Auslöser und Anker ist eine 2 m lange Kette angebracht. Sie soll den Auslöser vor vom Boden aufgewirbeltem Sediment schützen. Der Anker besteht aus zwei Eisenbahnradern mit einem Gesamtgewicht

<i>Verankerung</i>	<i>Auslegung</i>	<i>Breite</i>	<i>Länge</i>	<i>Wassertiefe (m)</i>	<i>Tiefe der Messgeräte</i>
Rohr 2	Sept 2000-Sept 2001	74°01.716 N	15°31.149 W	320	oberes Gerät: ca. 41 m unteres Gerät: ca. 84 m
Rohr 5	Sept 2001-Sept 2002	74°01.678 N	15°31.303 W	340	oberes Gerät: 77 m unteres Gerät: 117 m
Rohr 6	Sept 2001-Sept 2002	74°03.956 N	15°45.139 W	203	oberes Gerät: 16 m unteres Gerät: 56 m
ADCP	Sept 2000-Sept 2001	74°02.879 N	15°38.113 W	205	

*Tabelle 3.1: Verankerungspositionen und Wassertiefen der Rohre und des ADCPs laut Auslegeprotokolle. Die Tiefen der Messgeräte von Rohr 5 und 6 wurde den ungefilterten Druckdaten entnommen.*

in der Luft von 600 kg.

Rohr 5 wurde im September 2001 an nahezu derselben Stelle wie Rohr 2 ausgebracht und September 2002 wieder aufgenommen. Die beiden Microcats befanden sich in Tiefen von 77 und 117 m. Die im Auslegeprotokoll angegebene Wassertiefe betrug 340 m, was aber bei einer Seillänge von 230 m nicht stimmen kann. Die Wassertiefe muss mindestens 353 m betragen haben, wenn man bedenkt, dass unterhalb des Seils noch 3 Benthoskugeln, ein Auslöser, 2 m Ankerkette und ein Anker hingen, siehe Abb. 3.2. Da nur das Messinstrument in der Tiefe von 117 m mit einem Drucksensor ausgestattet war, musste der fehlende Druck des oberen Gerätes später in der Auswertung berechnet werden. Die genaue Position kann aus Tab. 3.1 entnommen werden. Bei Rohr 5 wurde nicht nur der Durchmesser (22 cm) des Rohres verändert, sondern auch die Verschraubung der einzelnen Segmente. Anstatt einfacher Schrauben mit Schnellspanmuttern (wie in Rohr 2), wurden quer durch die Rohre und deren Verbindungsmanschetten Bolzen getrieben. Diese Technik hat sich bewährt, da seit den Auslegungen von 2001 alle Rohre unbeschädigt wieder aufgenommen werden konnten. Zusätzlich wurden die Löcher in den nachfolgenden Rohren vergrößert, damit die Sensoren besser umströmt werden. In Kapitel 5 wird auf die Auswirkungen näher eingegangen. Die Benennung der einzelnen Segmente der Rohre erfolgte hier in umgekehrter Reihenfolge, nicht wie bei Rohr 2, wo das oberste Segmente das achte war. Für den Auftrieb des Rohres sorgten insgesamt 80 Fischerkugeln, die in den einzelnen Segmenten von Rohr 5 und Rohr 6 wie folgt verteilt wurden:

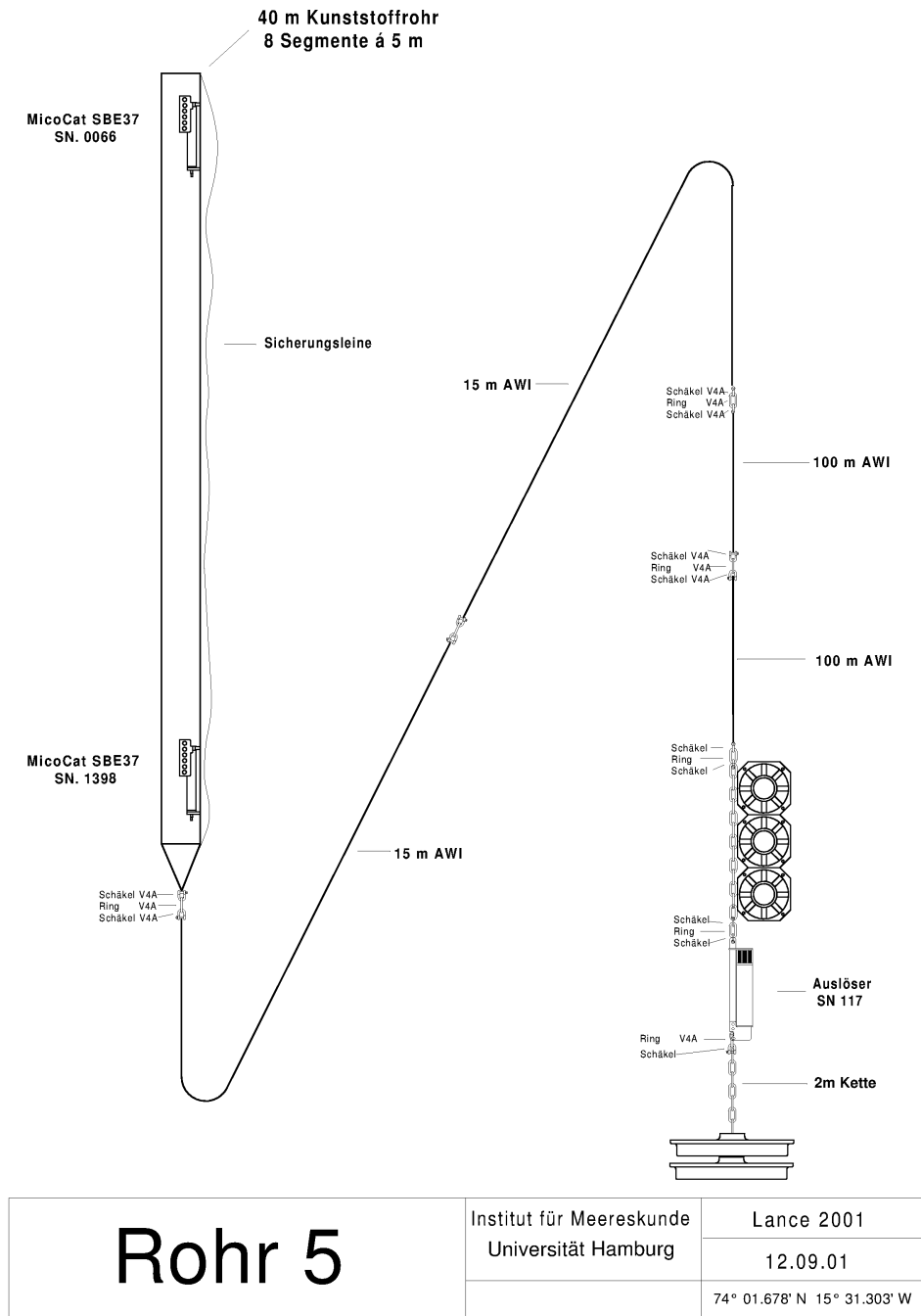


Abbildung 3.2: Skizze der Rohrverankerungen bei 74° N am Beispiel von Rohr 5.

- Segment 1 (oben): 19 Fischerkugeln
- Segmente 2-4: leer
- Segment 5: 18 Fischerkugeln
- Segment 6: leer
- Segment 7: 24 Fischerkugeln
- Segment 8 (unten): 19 Fischerkugeln

Der Gesamtauftrieb beläuft sich auf 258,4 kg. Die Fischerkugeln sind so verteilt, dass sich das Rohr bei Eiskontakt sehr leicht neigen kann, wie in Abb. 3.3 dargestellt ist.

#### **3.1.3 Rohr 6**

Im Jahr 2001 wurde zusätzlich zu Rohr 5 ein zweites Rohr ausgebracht. Das Rohr 6 bei 74°N liegt ca. 15 Längenminuten weiter westlich auf dem Schelf, der an der Stelle wesentlich flacher ist. Hier betrug die Wassertiefe nur noch 203 m. Es wurde derselbe dünnere Rohrtyp verwendet wie bei Rohr 5. Aufgrund der geringeren Wassertiefe hatte das Seil eine Länge von 140 m. Die beiden Microcats befanden sich in 16 und 56 m Tiefe, wobei das obere Messgerät mit einem Drucksensor ausgestattet war, sodass mit dieser Verankerung die sommerliche Deckschicht der Wassersäule sehr gut erfaßt werden konnte.

## **3.2 Strömungsverhalten der Rohrverankerungen**

Die Berechnung des Strömungsverhaltens der Rohre soll Aufschluss über deren wahres Verhalten während der Auslegung geben und aufgrund dieser die Technik gegebenenfalls verbessert werden. Weiterhin wird versucht Ursachen für das Auseinanderbrechen von Rohr 2 durch diese Berechnungen zu finden. Die Anströmung der Rohre wurde mit dem auf Matlab basierenden, frei erhältlichen Verankerungsprogramm „Mooring Design & Dynamics“(MDD) von Dewey (2002)



berechnet. Zuerst wird die Verankerung im Programm so erstellt, wie sie ausgelegt wurde, inklusive aller Geräte, Auftriebe, Schäkel und Anker. Im Verankerungsprogramm können Geräte vom Benutzer selbst definiert werden, da es nicht konstant weiterentwickelt wird. In den ersten Berechnungen ist das Rohr als Ganzes mit einem Gesamtauftrieb von 258,4 kg definiert worden. Hierfür wurde das Rohr mit Geschwindigkeiten zwischen 0 und 1 m/s in 0,1er Schritten angeströmt, wobei eine barotrope Strömung angenommen wurde. Um die Anströmungen möglichst realitätsnah zu gestalten, wurde in einer zweiten Berechnungsvariante das Rohr in seine acht Segmente unterteilt und diese dann angeströmt. Die einzelnen Teilstücke von den Rohren 5 und 6 sind jeweils 5 m lang, bei Rohr 2 sind sie etwas länger (5,4 m). Das Programm berechnet nach der Vorgabe der Geschwindigkeiten die maximale Auslenkung bei einer gleichmäßigen Strömung. Das als Ganzes berechnete Rohr wurde vom Verankerungsprogramm als ein Gerät, das in sich versteift ist, betrachtet. Das in seine acht Segmente unterteilte Rohr wurde vom Verankerungsprogramm als acht einzelne Geräte mit unterschiedlichem Auftrieb angesehen. Hierbei fällt auf, dass das Rohr, welches als Ganzes berechnet wurde, eine deutlich größere Auslenkung aufweist als das Rohr, das in Teilen berechnet wurde. Die Neigung wird durch die mittlere Höhe des Rohres dargestellt. Wenn von der Neigung der Rohre gesprochen wird, ist immer die der gesamten Verankerung gemeint. Im Ausgangszustand ( $v=0$  m/s) muss die mittlere Höhe der Rohre (ganzes Rohr und unterteiltes Rohr) übereinstimmen um einen Vergleich ziehen zu können, deshalb wurde die mittlere Höhe bei beiden Rohren auf ein gleiches Niveau gebracht. Beim kürzeren Rohr (40 m) wurden der Gesamtlänge 1,25 m hinzugefügt und dem unterteilten Rohr 1,25 m in der mittleren Höhe abgezogen. Dem längeren Rohr (43,2 m) wurde in der mittleren Höhe 1,35 m hinzugefügt (ganzes Rohr) oder abgezogen (unterteiltes Rohr). Es wird versucht, die Auslenkung mit den Druckmessungen der Rohrverankerungen und den vom ADCP gemessenen Strömungsgeschwindigkeiten zu vergleichen.

Bei dem ADCP handelt es sich um ein verankertes ADCP, das genau zwischen den beiden Rohrverankerungen, Rohr 5 und Rohr 6, positioniert wurde. Das Schema ist in Abb. 3.3 abgebildet, wobei allerdings kein ULS eingesetzt wurde. Die

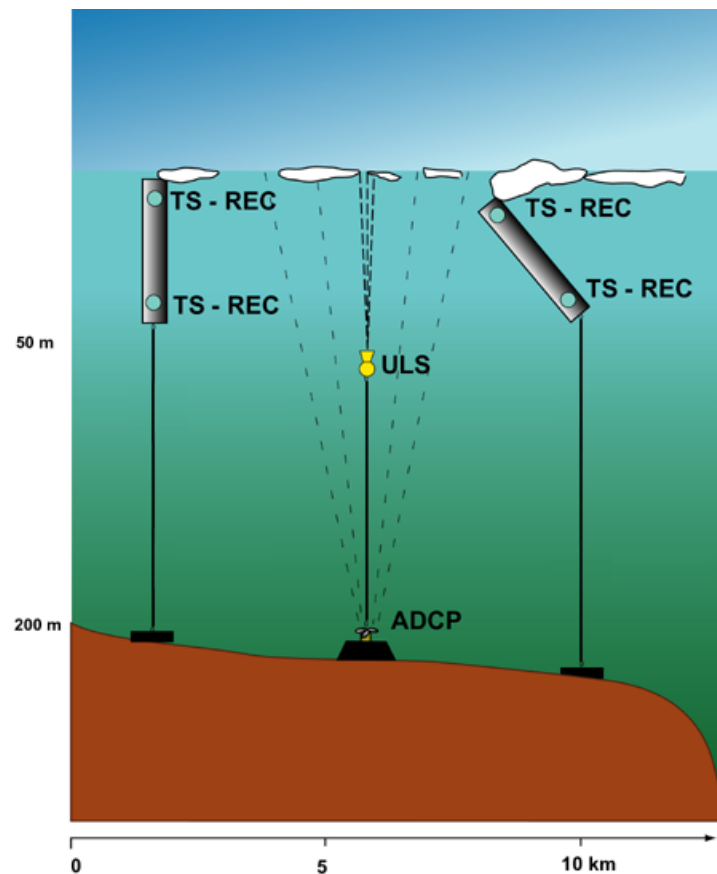


Abbildung 3.3: Verankerungs-Array zur Messung des Frischwassertransports, aus ASOF-EC(W) von J. Meincke und B. Dickson.

genaue Position des ADCPs ist aus Tab. 3.1 zu entnehmen. Das ADCP misst die Geschwindigkeiten über die komplette Wassersäule, die in 11 verschiedenen Tiefenstufen, sogenannten bins, gemittelt werden. Aus den gewonnenen Daten werden vektoriell die absoluten Geschwindigkeiten berechnet. Am größten sind die Geschwindigkeiten an der Oberfläche, die in Spitzen bis zu 1,3 m/s erreichen. Um eine mittlere Geschwindigkeit zu erhalten wurde die Geschwindigkeit über die 11 Tiefenstufen gemittelt. Die gemittelten absoluten Strömungsgeschwindigkeiten erreichten einmal einen Spitzenwert von 0,8 m/s, die Spitzengeschwindigkeiten im übrigen Verlauf des Jahres betragen höchstens 0,7 m/s.

### 3.2.1 Berechnung der Anströmung der Rohre

Die von MDD berechnete Anströmung von Rohr 2 bei verschiedenen Strömungsgeschwindigkeiten ist in Abb. 3.4 dargestellt. Die angegebene mittlere Höhe des Rohres bei Anströmung liegt im Ruhezustand ( $v=0$  m/s) bei 258 m über dem Boden. Es zeigen sich deutliche Unterschiede zwischen den beiden Rohrvarianten. Das angeströmte Rohr als Ganzes betrachtet, neigt sich bei größeren Geschwindigkeiten wesentlich stärker als das Rohr, das in seine acht Segmente unterteilt wurde. Bis zu einer Strömungsgeschwindigkeit von 0,3 m/s allerdings verhalten sich beide Typen annähernd identisch. Sie unterscheiden sich nur um ca. 2 Meter in der Neigung, die gesamte Neigung beträgt 13 m (unterteiltes Rohr) bzw. 15 m (ganzes Rohr). Die Unterschiede werden bei höheren Strömungsgeschwindigkeiten immer deutlicher. Ab einer Geschwindigkeit von 0,3 m/s ist die Neigung linear abfallend. Bei einer Strömungsgeschwindigkeit von 0,4 m/s liegt die Differenz zwischen den beiden Rohrtypen bei mittlerweile 13 m und bei einer Anströmung mit 1 m/s liegt die Differenz bei fast 90 m. Das Rohr als Ganzes berechnet neigt sich bei einer Anströmung mit 1 m/s um 188 m, hier befindet es sich in fast waagerechter Position. Das unterteilte Rohr zeigt bei einer Anströmung mit 1 m/s eine geringere Neigung auf als das ganze Rohr. Hier beträgt die mittlere Tiefe 160 m, was einer Neigung um 98 m entspricht.

Es ist sehr schwer zu sagen, welche Variante mehr der Realität entspricht, da das Verankerungsprogramm immer eine stetige Strömung und nur die maximale Auslenkung des Rohres berechnet. Da sich in Rohr 2 kein Drucksensor befand, können diese Ergebnisse leider nicht mit der Realität verglichen werden.

Rohr 5 wurde an nahezu derselben Stelle ausgelegt wie Rohr 2. Aufgrund dessen wurde darauf Wert gelegt, dass die beiden Verankerungen vom Bau, bis auf die Länge und Breite des Rohres, gut übereinstimmen. Bis zu einer Strömungsgeschwindigkeit von 0,3 m/s ist das Verhalten der beiden Rohrtypen (ganzes Rohr, unterteiltes Rohr) identisch, wie in Abb. 3.5(A) zu sehen ist. Leichte Unterschiede sind ab einer Geschwindigkeit von 0,4 m/s zu verzeichnen, mit einer Differenz von 4 m, deutlichere Unterschiede aber erst ab 0,5 m/s, die Differenz beträgt hier 15 m. Das Rohr als Ganzes weist, genau wie bei Rohr 2, eine wesentlich größe-

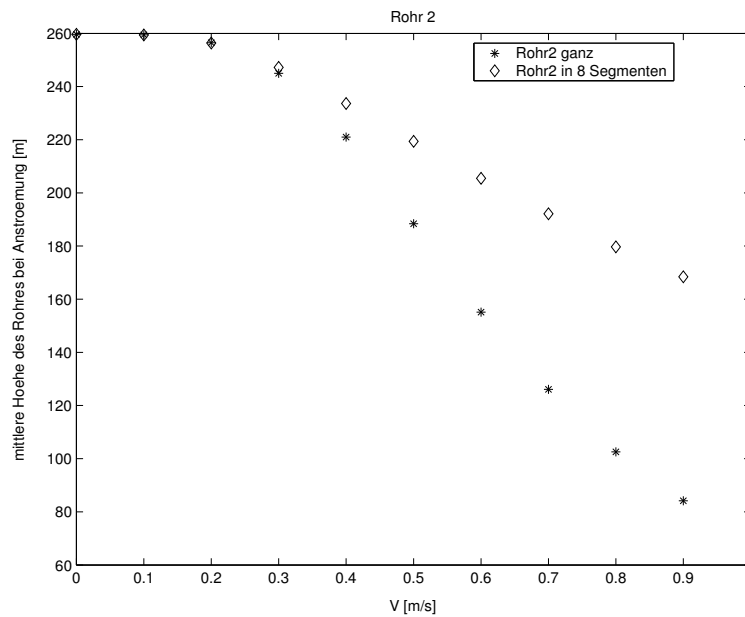


Abbildung 3.4: Mittlere Höhe der Rohre bei Anströmung mit Geschwindigkeiten zwischen 0 und 1 m/s in 0,1er Schritten.

re Neigung auf als das unterteilte. Die Differenz zwischen beiden Rohrtypen bei einer Anströmung von 1 m/s beträgt 70 m. Das ganze Rohr neigt sich bis auf 100 m und das unterteilte bis auf 170 m über dem Boden. Daraus ergibt sich eine Differenz gegenüber dem Ruhezustand ( $v=0$  m/s) von 156 m für das ganze Rohr und 86 m für das unterteilte. Welche Berechnung (unterteiltes oder ganzes Rohr) jetzt mehr der Realität entspricht, soll am Beispiel von Rohr 6 untersucht werden. Hier wird die Auslenkung des Rohres mit dem gemessenen Druck der Verankerung und den gemittelten Geschwindigkeiten des ADCPs verglichen.

Die kürzeste Verankerung ist Rohr 6 mit einer mittleren Höhe im Ruhezustand ( $v=0$  m/s) von 166 m, siehe Abb. 3.5(B). Hier stimmen die beiden Rohrtypen (ganzes Rohr, unterteiltes Rohr) bei einer Strömungsgeschwindigkeit von 0,3 m/s noch komplett überein. Kleine Unterschiede in der Neigung gibt es ab einer Geschwindigkeit von 0,4 m/s und größere erst ab einer Geschwindigkeit von 0,5 m/s mit 17 m. Bei einer Anströmung von 1 m/s liegt die mittlere Höhe des ganzen Rohres bei 66 m und die des unterteilten Rohres bei 115 m. Die Differenz zwischen den beiden Typen ist mit 49 m die geringste der drei Rohre. Erst ab einer Geschwindigkeit von 0,4 m/s fällt die mittlere Höhe linear ab.

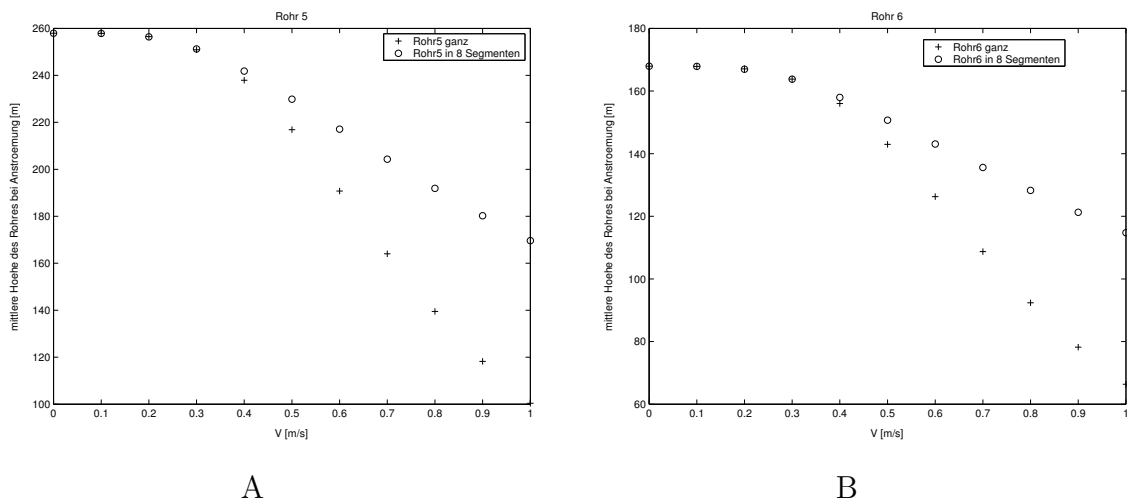


Abbildung 3.5: Mittlere Höhe der Rohre 5 (A) und 6 (B) bei Anströmung durch verschiedene Geschwindigkeiten.

Vom Strömungsverhalten sind sich Rohr 2 und Rohr 5 ähnlich, da beide Verankerungen fast gleich lang waren. Die Seillänge spielt auch eine Rolle, selbst wenn das Seil nur einen geringen Durchmesser hat, wächst mit zunehmender Länge die Anströmfläche der gesamten Verankerung. Wie in Abb. 3.6 zu sehen ist, sind die Unterschiede in der Neigung der geteilten Rohre nicht sehr gravierend. Die Differenz zwischen dem Rohr 2 (31,5 cm im Durchmesser) und Rohr 5 (22 cm im Durchmesser) beträgt nur 12 m. Der Unterschied zwischen den als ein Segment berechneten Rohren ist größer, er beträgt 32 m. Durch die Berechnung stellt sich heraus, dass das unterteilte Rohr 5 sich um 35 m mehr neigt, als das unterteilte Rohr 6. Das als Ganzes berechnete Rohr 5 neigt sich um 156 m und das als Ganzes berechnete Rohr 6 um 100 m. Aufgrund der unterschiedlichen Seillängen von Rohr 5 und 6 kommt es zu unterschiedlich starken Neigungen. Der Neigungswinkel weist jedoch nur kleine Änderungen auf. Das Auseinanderbrechen von Rohr 2 ist nicht auf die Seillänge zurückzuführen, sondern auf die größere mechanische Belastung aufgrund des größeren Durchmessers des Rohres und die daraus resultierende größere Belastung auf die Verschraubung. Das dünnere Rohr mit der veränderten Verschraubung hat den Belastungen durch die Strömung standgehalten.

In Abb. 3.7 sind die gemittelten absoluten Strömungsgeschwindigkeiten des ADCPs mit dem gemessenen Druck von Rohr 6 zu sehen. Vergleicht man den Druck mit

den Strömungsgeschwindigkeiten, so lassen sich hier Übereinstimmungen feststellen. Bei hohen Strömungsgeschwindigkeiten verzeichnet das Rohr große Neigungen. Die höchste gemessene mittlere Geschwindigkeit lag bei 0,8 m/s, die eine Auslenkung des Rohres um 55 m herbeiführte. Wenige Tage bevor diese Höchstgeschwindigkeit gemessen wurde, wurde eine ebenso hohe Auslenkung des Rohres durch eine Geschwindigkeit von nur 0,6 m/s hervorgerufen. Der Grund liegt wahrscheinlich in der zeitlichen Ausdehnung der Strömungen, d.h. je länger eine hohe Strömungsgeschwindigkeit vorherrscht, desto größer ist die Wahrscheinlichkeit, dass das Rohr sich in die für diese Strömung relevante Gleichgewichtslage begeben wird. Wenn die Geschwindigkeiten aber schon nach kurzer Zeit wieder abnehmen, hat das Rohr nicht die Möglichkeit sich stark zu neigen. Weiterhin lässt sich feststellen, dass sich das Rohr erst ab Strömungsgeschwindigkeiten von 0,3 m/s zu neigen beginnt. Bei kleinere Geschwindigkeiten sind kaum Auslenkungen festzustellen. Wie in Abb. 3.7 ersichtlich, ist der Druck gegenüber den Geschwindigkeiten leicht versetzt, wahrscheinlich aufgrund der benötigten Anpassungszeit des Rohres an die vorherrschenden Strömungsgeschwindigkeiten.

Ein Vergleich der gemessenen Strömungsgeschwindigkeiten und der dadurch hervorgerufenen Auslenkung des Rohres mit den berechneten Auslenkungen des Verankerungsprogramms MDD ist nicht trivial. Das Problem liegt in der Anströmung und der daraus folgenden Auslenkung. Mit MDD wurde nur die maximale Auslenkung berechnet, d.h. wenn eine bestimmte Geschwindigkeit induziert wird, wird daraus der Gleichgewichtszustand aus Anströmgeschwindigkeit und der entgegenwirkenden Auftriebskraft berechnet. Da das Verankerungsprogramm nicht auf die Berechnung großer Geräte, wie die des Rohres, ausgelegt ist, lieferte eine dynamische Berechnung keine Ergebnisse. Die induzierte Geschwindigkeit des Verankerungsprogramms ist immer eine stabile, gleichmäßige Strömung. In der Realität ist dies nicht der Fall, da Geschwindigkeiten stark schwanken können und große Strömungsgeschwindigkeiten nur vereinzelt über kurze Zeiträume auftreten.

Die nicht gemittelten absoluten Geschwindigkeiten des ADCPs haben in den

### 3.2 Strömungsverhalten der Rohrverankerungen

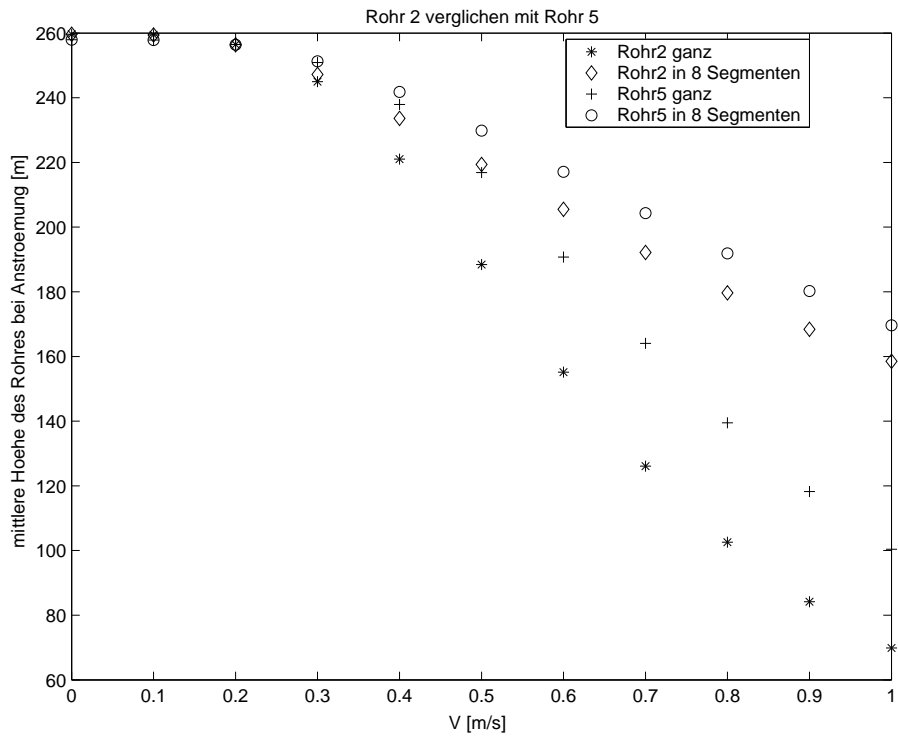


Abbildung 3.6: Vergleich der mittleren Höhe der Rohre Nr. 2 und Nr. 5 bei Anströmung.

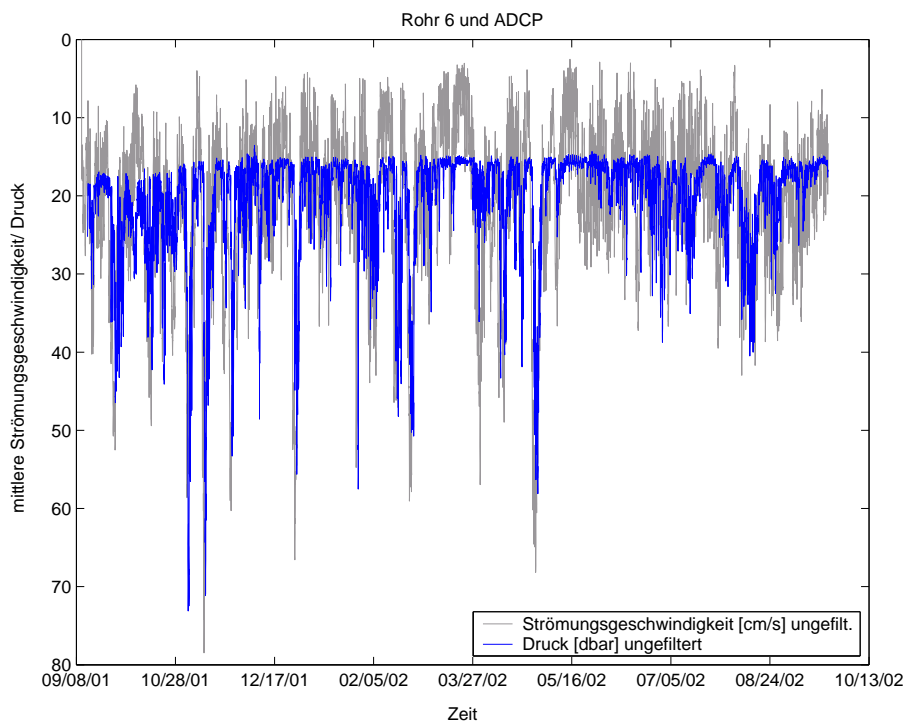


Abbildung 3.7: Absolute mittlere Strömungsgeschwindigkeit des ADCPs zusammen mit dem Druck von Rohr 6 geplottet, ungefiltert.

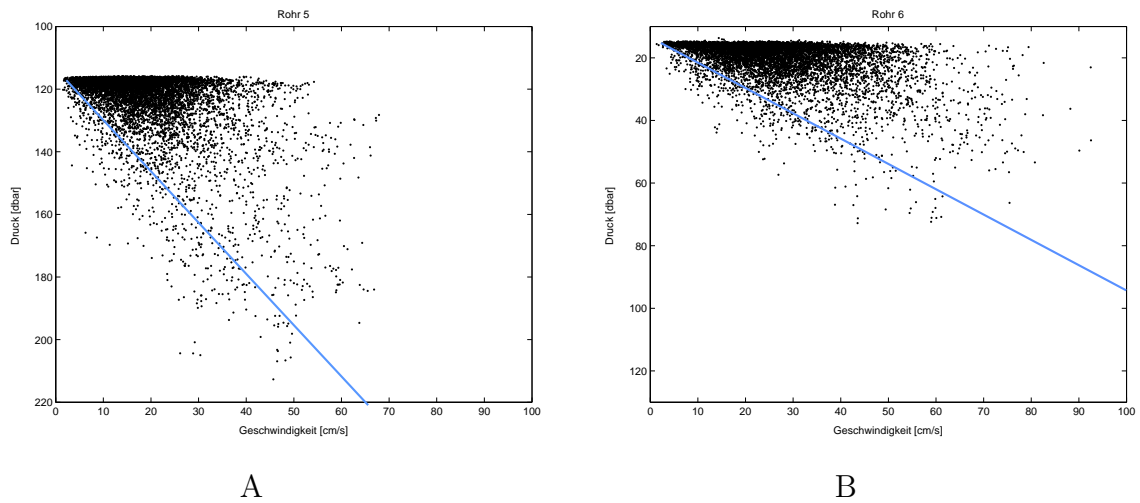


Abbildung 3.8: Druck aufgetragen gegen die gemittelten Strömungsgeschwindigkeiten in den jeweiligen Bintiefen der beiden Rohre. Die Gerade zeigt in der Tendenz die Neigung der Rohre. A: Rohr 5, B: Rohr 6.

Sommermonaten eine stark ausgeprägte Oberflächenströmung. Im Winter ist die Wassersäule gut durchmischt und hohe Strömungsgeschwindigkeiten ziehen sich durch die gesamte Wassersäule. Im Sommer, wenn der Salzgehalt der Oberfläche durch die Eisschmelze stark abnimmt, bildet sich eine warme Frischwasserdeckschicht, die von der restlichen Wassersäule abgekoppelt ist. Daraus lässt sich schließen, dass im Sommer ein starkes baroklines Signal in der Strömung vorherrscht, welches im Herbst und Winter allerdings nicht vorhanden ist.

Abb. 3.8 stellt das Verhältnis zwischen dem gemessenen Druck der Rohrverankerungen und der gemittelten Strömungsgeschwindigkeiten in den entsprechenden Bintiefen des ADCPs dar. So kann ein Vergleich zwischen der Neigung des Rohres und den Strömungsgeschwindigkeiten in der Tiefe des Messgerätes gezogen werden. Die großen Anhäufungen entstehen durch die physikalischen Gegebenheiten der Rohre, da bei geringen Geschwindigkeiten nur kleine Neigungen entstehen und der Druck der Rohre auf einen Minimalwert festgesetzt ist. Die Ausgleichsgerade beschreibt, in welcher Tiefe das Rohr bei Anströmung mit einer bestimmten Geschwindigkeit seine tendenzielle Maximalauslenkung hat. Aufgrund der großen Streuung der einzelnen Werte, die durch die Trägheit des Rohres im Wasser entsteht, können keine Angaben über die genaue maximale Auslenkung gemacht



werden. Alle Punkte, die sich rechts der Geraden befinden, sind auf kurzfristige hohe Geschwindigkeiten zurückzuführen, die allerdings nicht ausreichen um das Rohr stark zu neigen. Die Punkte links der Geraden beschreiben die Tiefen, in denen sich das Rohr befindet, wenn Ereignisse mit großen Strömungsgeschwindigkeiten stattgefunden haben. Die Geschwindigkeit hat dann schon wieder abgenommen, das Rohr sich aber nicht so schnell in seine Ruhelage zurückbegeben. Die Steigung der Gerade stimmt in der Tendenz mit den Berechnungen des Verankerungsprogramms überein. Rohr 5 erreicht bei gleichen Geschwindigkeiten wie Rohr 6 wesentlich größere Tiefen, was, wie schon erwähnt, auf die unterschiedlichen Seillängen zurückzuführen ist.

### 3.2.2 Diskussion

Die Berechnung der Anströmung der Verankerung wurde mit dem Verankerungsprogramm MDD gemacht. Die Anströmung kann mit diesem Programm nicht präzise berechnet werden, da es nicht auf Geräte dieser Größe ausgelegt ist. Das Programm gibt immer nur die mittlere Höhe der einzelnen Komponenten an, was bei einem Rohr von 40 m Länge schon problematisch ist. So weiß man nicht, in welcher Art und Weise die Auslenkung des Rohres berechnet wurde, ob es als verlängerter Arm des Seils angesehen wurde, oder ob das Seil schräg steht, das Rohr aber gerade und die Verankerung somit einen Knick hat. Ein direkter Vergleich der berechneten Anströmung der Rohre mit dem gemessenen Druck und der gemessenen Strömungsgeschwindigkeit ist aufgrund unterschiedlicher Voraussetzungen nicht möglich. Dadurch lässt sich nicht klären, welche der beiden berechneten Varianten nun der Realität entspricht. Wahrscheinlich liegen die wahren Neigungen des Rohres irgendwo zwischen den berechneten Neigungen des unterteilten und des ganzen Rohres.



# Kapitel 4

## Daten und Methoden

### 4.1 Beschreibung der Daten

#### 4.1.1 Eisdaten

Zur Beschreibung der Eisausdehnung wurden passive Mikrowellendaten des Special Sensor Microwave Imager (SSM/I) an Bord des Defence Meteorological Satellite Program (DMSP) Satelliten benutzt. Die Eiskonzentration wird aus Helligkeitstempurbildern des National Snow and Ice Data Centers (NSIDC) in Boulder (Colorado) gewonnen, siehe Cavalieri et al. (1990, updated 2003). Die täglichen Eiskarten werden in einer stereographischen Projektion mit einer horizontalen Auflösung von 25 km geplottet. Dies ist zwar eine recht ungenaue horizontale Auflösung, aber zum jetzigen Zeitpunkt die einzige Möglichkeit tägliche Daten der Eiskonzentration und -ausdehnung zu gewinnen ohne von der Wolkenbedeckung abhängig zu sein.

#### 4.1.2 Verankerungsdaten

Die verwendeten Geräte in den Rohren waren Microcats vom Typ SBE37. Die Microcats in Rohr 2 waren nicht mit Drucksensoren ausgestattet, die in Rohr 5 und Rohr 6 jeweils nur mit einem Drucksensor. In Rohr 5 enthielt das untere Messgerät einen Drucksensor und in Rohr 6 das obere, die fehlenden Druckdaten wurden bei der Auswertung jeweils berechnet. Die Messungen der Microcats

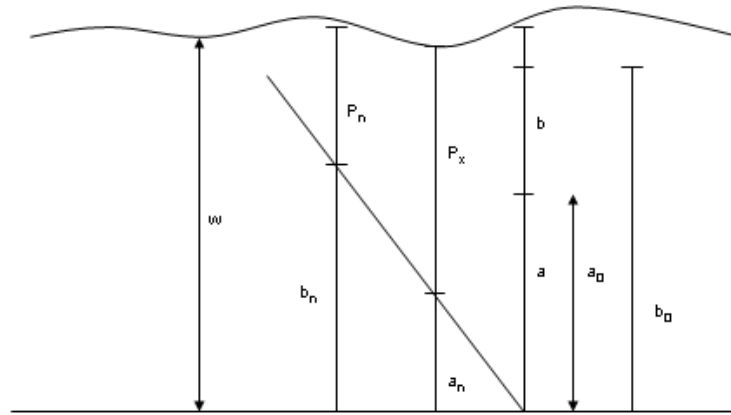


Abbildung 4.1: Skizze zur Berechnung der fehlenden Drucke. Die Abkürzungen werden im Text erläutert.

fanden einmal pro Stunde statt. Die Auswertung der Verankerungsdaten wurde wie folgt durchgeführt: Zuerst werden die Geräte ausgelesen und im `cnv`-Format gespeichert. Ein selbstgeschriebenes Matlab Programm liest zunächst die Daten ein und berechnet dann von Rohr 5 und Rohr 6 die fehlenden Druckdaten, wie in Abb. 4.1 dargestellt.

Die Formeln werden am Beispiel von Rohr 6 erläutert:

$$z_n = sw\_dpth(P_n, lat)$$

$$z_x = w - \frac{a_0(w - z_n)}{b_0}$$

$$P_x = sw\_pres(z_x, lat)$$

$$\frac{w - P_n}{w - P_x} = \frac{b_n}{a_n} = \frac{b_0}{a_0}$$

`sw_pres` (Morgan, 1999) berechnet den Druck in dbar anhand der Tiefe in m, `sw_dpth` (Morgan, 1999) berechnet die Tiefe in m anhand des Druckes in dbar,  $w$ = Wassertiefe [m],  $a_0$ = Höhe des unteren Drucksensors über dem Boden (für  $v=0$ ),  $b_0$ = Höhe des oberen Sensors über dem Boden (für  $v=0$ ),  $a_n$ = Höhe des unteren Drucksensors bei Anströmung,  $b_n$ = Höhe des oberen Drucksensors bei Anströmung,  $P_n$ = vorhandener Druck,  $P_x$ = gesuchter Druck,  $lat$ = geograph. Breite.

Die Microcats hatten ihre Messungen nicht zum selben Zeitpunkt begonnen, daher mussten die Daten aufeinander abgestimmt werden. Außerdem hatten die

Messungen nicht zeitgleich stattgefunden, sondern um eine halbe Stunde versetzt. Da die Daten der beiden Sensoren zeitgleich miteinander verglichen werden sollten, wurden diese Zeitreihen aufeinander abgestimmt und mit „interp1“ linear interpoliert. Dies hat zur Folge, dass nicht mehr eine Messung pro Stunde vorhanden ist, sondern die doppelte Anzahl an Datenpunkten.

Für die Berechnung des Salzgehaltes von Rohr 2 wurde der Druck auf 20 und 60 dbar festgesetzt. In der Salzgebhaltsberechnung von Rohr 5 und 6 wurden die gemessenen bzw. berechneten Drucke benutzt.

Mit der Spektralanalyse können die Daten auf Gezeitensignale kontrolliert werden. Um die Daten zu glätten und das Rauschen zu vermindern, wurden die Gezeiten herausgefiltert. Dafür wurde ein Butterworth-Tiefpassfilter (Abb. 4.2) 3. Ordnung mit einer Frequenz von 30 Stunden angewandt. Die genaue Syntax des Butterworth-Filters lässt sich in der Matlab-Hilfe (2002) nachlesen. Butterworth-Tiefpassfilter besitzen einen Amplituden-Frequenzgang, der möglichst weit horizontal verläuft und erst kurz vor der Grenzfrequenz scharf abknickt. Ihre Sprungantwort zeigt ein beträchtliches Überschwingen, das mit zunehmender Ordnung größer wird (Rausch und Exler, 1998).



Abbildung 4.2: Amplituden- (A) und Phasengang (B) von Butterworth-Tiefpassfiltern. Schwarz ist der Frequenzgang eines Filters erster Ordnung, rot dritter Ordnung und blau 10. Ordnung, aus Marti und Plettl (2003).

### 4.1.3 Gezeiten von Rohr 5 und Rohr 6

Mit dem Frequenzspektrum kann man die Energie, die in einem Signal steckt zur jeweiligen Frequenz ermitteln. Die Frequenzangabe erfolgt in Teilabschnitten pro Tag (1/d). Im Frequenzspektrum des Druckes der Rohre 5 und 6 (Abb. 4.3) ist

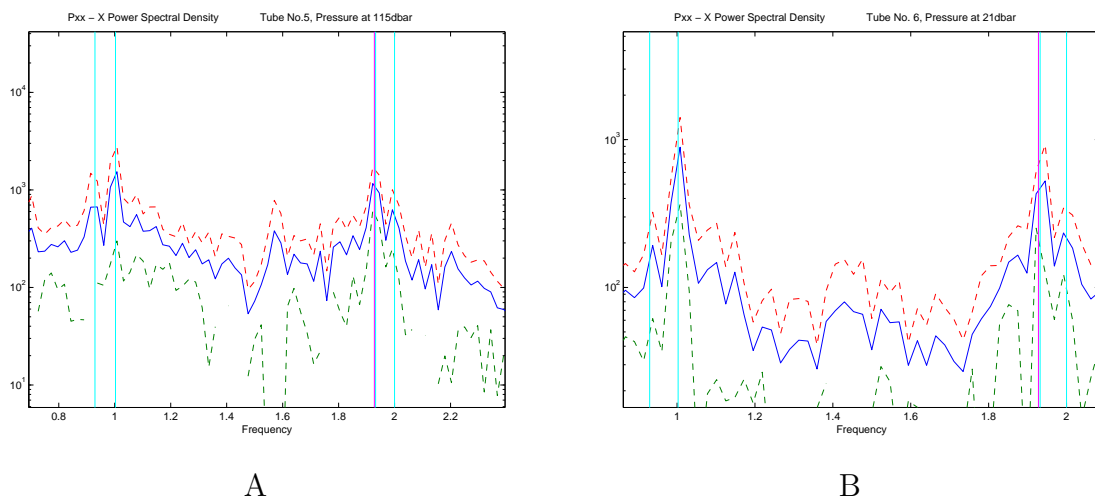


Abbildung 4.3: Frequenzspektrum des Druckes, A: Rohr 5, B: Rohr 6. Die Spektralanalyse zeigt, ob die Gezeiten eine Rolle spielen. Die Energie im Druck pro Frequenz wird in blau dargestellt, die gestrichelten Kurven zeigen die Abweichungen auf. Die senkrechten Linien in türkis bezeichnen die halbtägige und gantz tägige Mond- und Sonnengezeit. Die magenta farbene Linie zeigt die Trägheitsfrequenz an. Die Frequenzangabe erfolgt in Teilabschnitten pro Tag (1/d).

die Energie der Gezeiten zu erkennen. Beide Frequenzspektren zeigen ungefähr die gleiche Leistung an, wobei in Rohr 5 die Energie minimal höher liegt. Es sollte darauf geachtet werden, dass die beiden Graphiken unterschiedlich skaliert sind. Die türkise farbene Linie auf der Frequenz von 0,9 (1/d) markiert die eintägige Hauptmonttide, die auf Frequenz 1 (1/d) die eintägige Hauptdeklinationstide. Auf der Frequenz von 1,9 (1/d) befinden sich die halbtägige Monttide und die Trägheitsfrequenz zusammen, die halbtägige Sonnengezeit befindet sich auf der Frequenz von 2 (1/d). Die gantz tägigen Gezeiten sind immer etwas stärker ausgeprägt als die halbtägigen.

#### 4.1.4 CTD-Daten

Nach dem Aufnehmen der Verankerungen sollte zur Kalibrierung der Microcats an der Verankerungsposition eine CTD gefahren werden. Im September 2001 wurden CTD-Profile auf den Verankerungspositionen erstellt, nach der Aufnahme der Rohre im September 2002 allerdings nicht. September 2002 wurde nur ein Schnitt auf der Breite von 74°N im Abstand von 20 Längenminuten erstellt. Die von mir untersuchten CTD-Daten wurden auf den Reisen mit R/V Lance im

September 2000, September 2001 und September 2002 erstellt. Die relevanten Stationen der Reise im September 2000 mit R/V Lance beschränken sich auf eine Breite von ca.  $74^{\circ}\text{N}$  und eine Länge zwischen  $10^{\circ}\text{W}$  und  $15^{\circ}\text{W}$ , das Schelf wurde hier nicht berücksichtigt. Da im Jahr 2002 ein Schnitt von  $10^{\circ}\text{W}$  bis  $20^{\circ}\text{W}$  erstellt wurde, kann dieser mit dem über dem Schelfhang aus dem Jahr 2000 verglichen werden. Der Schnitt aus dem Jahr 2001 war der kürzeste, der auf einer Länge von ca.  $14^{\circ}\text{W}$  bis ca.  $18^{\circ}\text{W}$  verlief.

## 4.2 Methoden der Auswertung

Die genaue Erfassung der Instrumententiefe von Rohr 2 gestaltete sich aufgrund fehlender Drucksensoren schwierig. Soweit CTD-Messungen von den Verankerungspositionen vorhanden sind, muss versucht werden diese mit den gemessenen Werten der Verankerungen zu vergleichen. Hierbei sollten die jeweiligen Temperaturen und Salzgehalte der CTD mit denen der Verankerungen übereinstimmen. Die Rohrverankerungen Nr. 2, 5 und 6 lagen zwischen den in folgender Reihenfolge erstellten CTD Stationen: Nr. 3, 21, 23, 20 und 11. Die Stationen wurden zwischen dem 9. und 12. September 2001 erstellt. Die Rohrverankerung Nr. 2 wurde am 11. September 2001 nach einjähriger Messzeit wieder aufgenommen, die Rohre 5 und 6 wurden am 12. September 2001 ausgelegt. Die Verlauf der einzelnen Stationen ist in Abb. 5.1 eingetragen.

Der Jahresgang der Temperaturen und Salzgehalte wird desweiteren mit der Eisbedeckung auf dem ostgrönländischen Schelf verglichen. So können die Temperatur- und Salzgehaltmessungen der Verankerungen auf ihre Richtigkeit überprüft werden.





# Kapitel 5

## Auswertung der Messergebnisse

In den folgenden Unterkapiteln werden die CTD- und Rohrverankerungsdaten ausgewertet. Die Daten der Rohrverankerungen wurden mit einem Butterworth Tiefpassfilter geglättet, siehe hierzu auch Kapitel 4.1.2. Zuerst wird versucht, die Tiefe der Messgeräte von Rohr 2 zu ermitteln, da wie in Kapitel 4.1.2 erwähnt, in diese Verankerung keine Drucksensoren eingebaut waren. Die Messungen der Rohrverankerungen werden genau auf ihre Temperatur- und Salzgehaltsschwankungen während ihrer Auslegung untersucht und diese mit der Eisbedeckung verglichen. Desweiteren werden die Rohre untereinander verglichen, da sie zusammen eine Zeitreihe über zwei Jahre bilden. Mit dem Vergleich der CTD-Schnitte aus den Jahren 2000 bis 2002 (jeweils im September) sollen eventuell auftretende Unterschiede zwischen den Jahren untersucht werden. Außerdem stellt sich die Frage, inwieweit sich die CTD-Messungen mit den Messungen der Rohrverankerungen decken.

### 5.1 Auswertungen von Rohr 2

Die Tiefe der beiden Sensoren in Rohr 2 ist nicht exakt bestimmbar, daher muss man sich hier auf das Auslegeprotokoll verlassen. Die Tiefenangaben waren aufgrund damaliger größerer Ungenauigkeiten der Lotanlage des Schiffes nicht sehr verlässlich. Rohr 5 sollte an genau derselben Stelle ausgelegt werden wie Rohr 2, doch wurde dieses an einer etwas anderen Position ausgelegt (siehe Tab. 3.1). Was

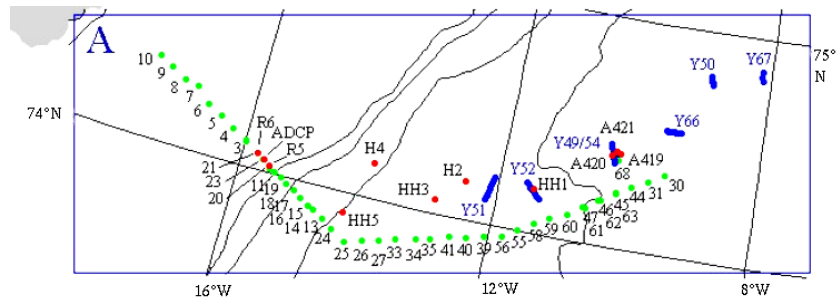


Abbildung 5.1: Stationen an der Kante des ostgrönländischen Schelfs mit R/V Lance im September 2001. Eingetragen sind die 500, 1000, 2000 und 3000 m Tiefenlinien. Die grünen Punkte stellen die CTD-Stationen dar, die roten Punkte die Verankerungen und die blauen Punkte die Yo-Yo CTD's. Die CTD-Stationen haben keine Abkürzung, die anderen Abkürzungen beschreiben die Herkunft oder Art: Y = YoYo CTD, A = AWI-Verankerung, HH, H = Hamburger Verankerung, R = Rohrverankerung (Logemann, 2001).

wiederum den Vorteil hatte, dass nun die gesamte Wassersäule überwacht werden konnte. An der Auslegestelle von Rohr 2 ist der Schelf sehr uneben und fällt stark ab. Somit konnte das Rohr, wenn es nicht senkrecht nach unten gezogen wurde, auch an einer anderen Stelle gelegen haben. Bei der Aufnahme der Verankerung im September 2001 wurde eine CTD gefahren, bei der Auslegung dagegen nicht, aufgrund einer zu hohen Eisbedeckung, wie in Abb. 5.13(A) zu erkennen ist. Die Bestimmung der Tiefe, in der sich die Sensoren befunden hatten, erfolgt mit Hilfe der CTD Temperatur- und Salzgehaltsprofile. In Abb. 5.1 sind der Verlauf des CTD-Schnittes über dem Schelf und die Positionen der Rohrverankerungen und des ADCPs zu erkennen. In Abb. 5.2 ist ein Temperatur- und Salzgehaltsschnitt mit den Markierungen der Positionen von Rohr Nr. 2 und 5 zu erkennen. Die beiden Rohre lagen zwischen den in folgender Reihenfolge befindlichen Stationen Nr. 23, 20 und 11.

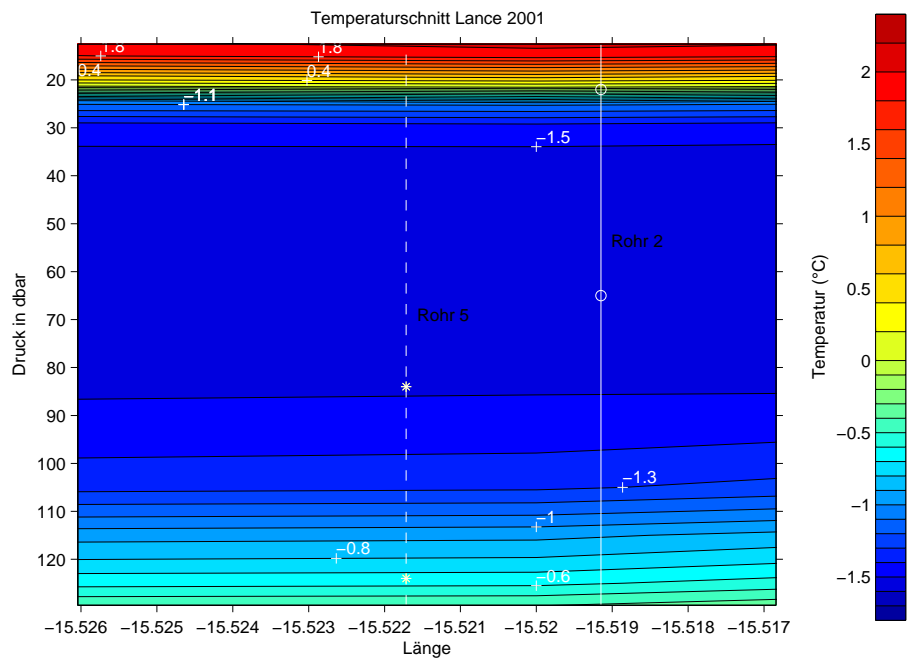
Rohr 2 wurde am 22. September 2000 ausgelegt und am 11. September 2001 wieder aufgenommen. Der Fahrtbericht mit den dazugehörigen Verankerungsstationen und CTD-Stationenlisten kann aus Holfort (2000) und Logemann (2001) entnommen werden. Die für Rohr 2 relevanten CTD-Stationen wurden zwischen dem 11. und 12. September 2001 erstellt. Station Nr. 23 wurde einen Tag nach

der Aufnahme von Rohr 2 gefahren, Station Nr. 20 ebenso, nur Station Nr. 11 wurde ein paar Stunden vor der Aufnahme gefahren. Somit können die letzten Messdaten von Rohr 2 sehr gut mit den CTD-Stationen verglichen werden.

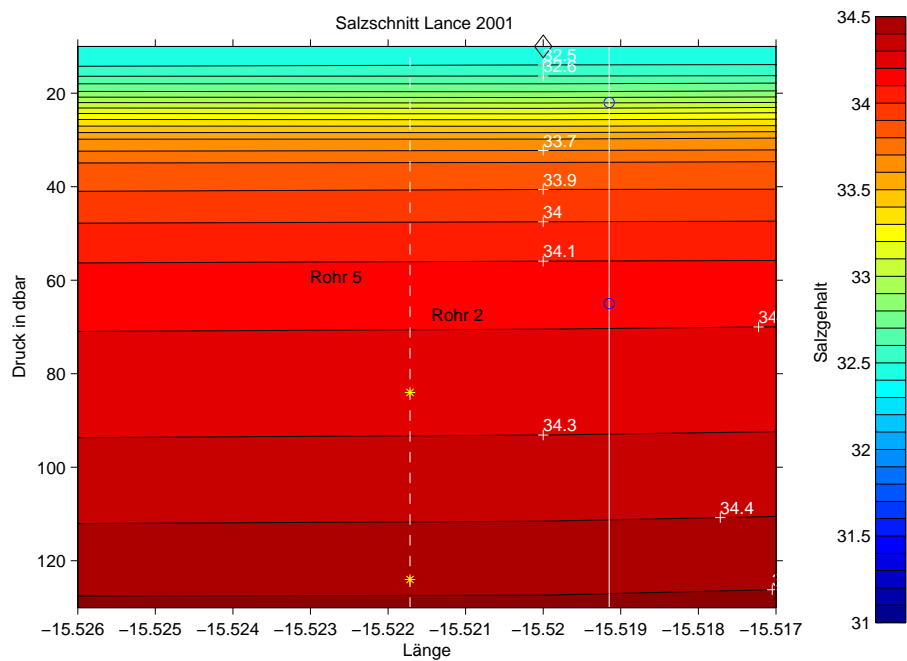
In Abb. 5.3 und Abb. 5.4 sind die Temperatur- und Salzgehalte während ihrer einjährigen Auslegung dargestellt. Die blaue Kurve beschreibt jeweils den oberen Sensor, die rote den unteren Sensor. Unmittelbar vor der Aufnahme zeigt der obere Sensor für die Temperatur von Rohr 2 einen Wert von  $-1,43^{\circ}\text{C}$  an und für den unteren Sensor einen Wert von  $-1,57^{\circ}\text{C}$ . Der Salzgehalt im oberen Sensor betrug 32,25 und im unteren Sensor 34,09. Die für den Vergleich mit den CTD-Stationen benutzten Daten des Rohres sind ungefilterte Daten. Mit diesen vier Werten sollen übereinstimmende Tiefen für die beiden Messgeräte gefunden werden. Der Temperaturschnitt der CTD (Abb. 5.2(A)) zeigt eine  $-1,5^{\circ}\text{C}$  kalte Schicht zwischen 34 und 86 dbar an. (Die Wassertiefe wird immer in dbar gemessen, da sie ungefähr derselben in Metern entspricht ( $1 \text{ dbar} \sim 1 \text{ m}$ )). Im Salzgehaltsschnitt (Abb. 5.2(B)) liegt ein Salzgehalt von 34,1 zwischen 56 und 72 dbar vor. Übereinstimmend mit der Temperatur befindet sich der untere Sensor zwischen 56 und 72 dbar.

In den oberen 30 m ist ein sehr starker Salzgehalts- und Temperaturgradient zu erkennen. Die Temperaturänderung beträgt zwischen  $0,3^{\circ}$  und  $0,6^{\circ}\text{C}/\text{m}$ . Die Änderung des Salzgradienten beträgt  $0,1/\text{m}$ . Aufgrund dieser hohen Gradienten kann es durch leichte Bewegungen des Rohres oder interne Wellen schnell zu großen Änderungen in den Temperatur- und Salzgehaltsmessungen der Sensoren kommen. Der obere Sensor des Rohres ist weder bei der Temperatur, noch beim Salzgehalt richtig einzuordnen. Der Salzgehaltsschnitt beginnt erst ab einem Wert von 32,5 bei 10 dbar und der Temperaturwert von  $-1,4^{\circ}\text{C}$  befindet sich zwischen 29 und 33 dbar.

Aufgrund des fehlenden Drucksensors ist die Messgenauigkeit der Sensoren nicht feststellbar. Die Tiefe der beiden Sensoren wurde auf 22 und 65 dbar geschätzt. Der obere Sensor von Rohr 2 ist auch in Rohr 5 als oberer Sensor verwendet worden. Hier wurde eine Abweichung bei der Temperatur von  $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$  festgestellt, was akzeptabel ist, da sich die Sensoren auch dort in einem großen Temperaturgradienten befanden.



A



B

Abbildung 5.2: Temperatur- und Salzgehaltsschnitt der CTD-Stationen Nr. 23, 20 und 11 (Lance-Fahrt, September 2001) mit den Verankerungspositionen von Rohr 2 und Rohr 5. Temperatur (A), Salzgehalt (B). Die Sternchen zeigen die Höhe der Geräte innerhalb der Rohre Nr. 5 an, die Kreise zeigen die vermutete Höhe der Geräte in Rohr 2 an.

### 5.1.1 Temperatur von Rohr 2

In der Temperaturzeitreihe von Rohr 2 (Abb. 5.3) ist ein saisonaler Zyklus gut zu erkennen, womit sich die geschätzte Tiefenangabe der Sensoren (22 und 65 dbar) bestätigt. Die großen Ausreißer am Anfang und Ende der Zeitreihe entstehen durch das Auslegen und Aufnehmen der Verankerung, denn die Sensoren messen durchgehend. Im Spätsommer/ Herbst sind die Temperaturen der beiden Sensoren relativ hoch, während sie sich im Winter in Gefrierpunktsnähe bewegen und erst zum Sommer wieder ansteigen. Die genauen Minima und Maxima der Temperaturen und Salzgehalte aller drei Rohre sind aus Tab. 5.1 zu entnehmen. Die Minima und Maxima wurden aus den gefilterten Temperatur- und Salzgehaltszeitreihen der Rohre gewonnen.

Bis Ende Mai 2001 sind die Temperaturen des unteren Sensors höher als die des oberen. Einzige Ausnahme sind ein paar Wochen im Oktober 2000. Von Mitte November 2000 bis Anfang Juni 2001 bewegen sich die Temperaturen des oberen Sensors in Gefrierpunktsnähe, die des unteren Sensors erreichen in Spitzen bis  $-1,28^{\circ}\text{C}$ . Diese Temperaturkonstellation ist auf die Eisbedeckung zurückzuführen, da das Wasser an der Oberfläche im Herbst abgekühlt wird und es durch die Eisbildung im Winter in Gefrierpunktsnähe bleibt. Anfang Juni fingen die Temperaturen des oberen Sensors an zu steigen, bis sie Anfang August (4. August 2001) ihren Höhepunkt erreichten, um danach wieder zu sinken. Bei der Aufnahme der Verankerung bewegten sich die Temperaturen des oberen Sensors bei  $-1,43^{\circ}\text{C}$  und die des unteren bei  $-1,57^{\circ}\text{C}$ . Die Temperaturen des unteren Sensors stiegen ab Anfang Juni ebenfalls an, aber nur in geringem Maße. Ende März war die Temperatur in einzelnen Spitzen zum Teil deutlich höher als im Sommer 2001.

Die vom unteren Sensor verzeichneten hohen Temperaturen im Oktober und November 2000 sind auf die durch den Wind verursachte Durchmischung der Wassersäule zurückzuführen. Es ist davon auszugehen, dass durch die starken Winde im Herbst die Wasseroberfläche abgekühlt wird, das Wasser aber immer noch wärmer ist als in den darunterliegenden Schichten und durch Vermischung in die Tiefe transportiert wird. Wie die Abb. 5.13(A) zeigt, herrschte bei der Auslegung

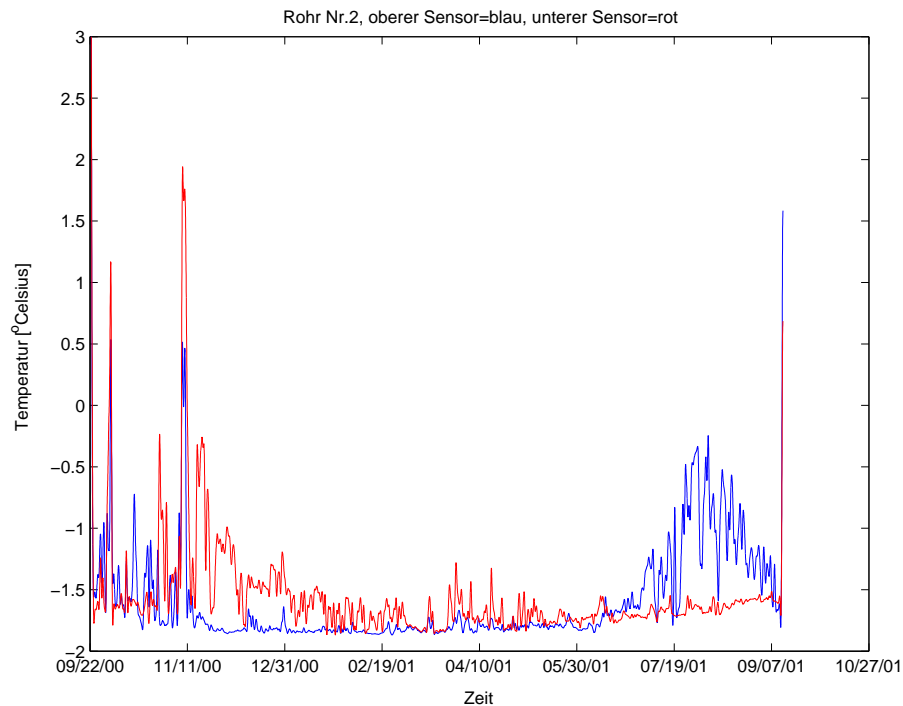


Abbildung 5.3: Temperaturzeitreihe von Rohr 2. Die blaue Kurve beschreibt die Temperatur des oberen Sensors, die rote die Temperatur des unteren Sensors.

von Rohr 2 eine Eisbedeckung von ca. 30%, bei der Aufnahme im September 2001 war das Gebiet komplett eisfrei. Die Temperaturen des oberen Sensors stimmen mit der Eisbedeckung gut überein, da die Temperaturen im September 2000 niedriger waren als im Jahr darauf.

### 5.1.2 Salzgehalt von Rohr 2

Der Salzgehalt von Rohr 2 wurde mit festen Druckwerten für die beiden Leitfähigkeitssensoren berechnet. Auch im Salzgehalt ist ein saisonaler Zyklus erkennbar. Aus Abb. 5.4 ist ersichtlich, dass bei der Auslegung im September 2000 die Salzgehalte des oberen und unteren Sensors noch relativ dicht beieinander liegen (oberer Sensor 33,70; unterer Sensor 34,06), bei der Aufnahme ein Jahr später liegen die Werte weit auseinander (oberer Sensor 32,25; unterer Sensor 34,09).

Der Salzgehalt des oberen Sensors schwankt von Beginn der Auslegung bis zum 10. November 2000 relativ stark, die Werte des oberen Sensors liegen zwischen

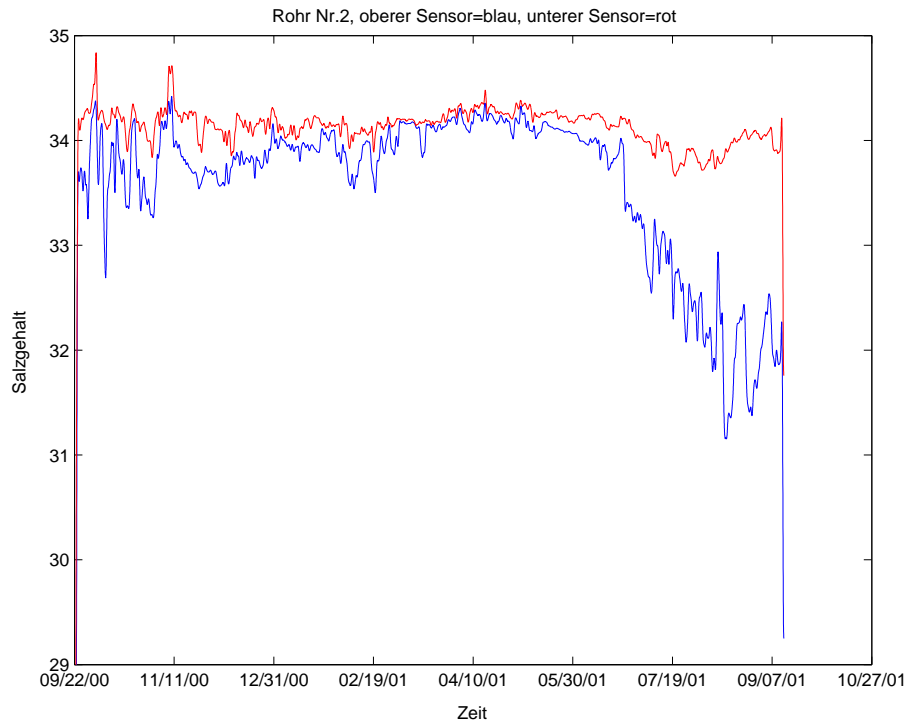


Abbildung 5.4: Salzgehaltszeitreihe von Rohr 2. Die blaue Kurve beschreibt den Salzgehalt des oberen Sensors, die rote den Salzgehalt des unteren Sensors.

32,69 und seinem absoluten Maximum. Die absoluten Minima und Maxima der Temperaturen und Salzgehalte werden in Tab. 5.1 aufgezeigt. Diese Schwankungen sind auf die winterliche Abkühlung der Wasseroberfläche und der dadurch hervorgerufenen Eisbildung zurückzuführen. Der Salzgehalt pendelt sich erst gegen Ende Dezember 2000 auf seine Winterwerte ein, obwohl es immer wieder Ausreißer gibt, wie Anfang/ Mitte Februar, bei denen der Salzgehalt auf Werte bis 33,5 sinkt. Anfang Juni, wenn mit dem Temperaturanstieg die Eisschmelze beginnt, fängt der Salzgehalt an stark zu sinken. Der Salzgehalt erreicht sein absolutes Minimum am 18. Juli 2001 und steigt bis zur Aufnahme der Verankerung wieder leicht an.

Der untere Sensor verzeichnet nur zwei sprunghafte Anstiege im Salzgehalt, einmal am 2. Oktober und einmal am 8. November 2000. Der Anstieg am 2. Oktober ist gleichzeitig das absolute Maximum des unteren Sensors, der aber nicht unbedingt auf die Eisbildung zurückzuführen ist, da dieser auch in der Temperatur verzeichnet wurde. Eine salzreichere Wassermasse advehiert hier an den

Verankerung	Datum:		Datum:	
	min. Temperatur (°C)	max. Temperatur (°C)	min. Salzgehalt	max. Salzgehalt
Rohr 2				
oberer Sensor	24.02.01: -1,87	08.11.00: 0,54	18.07.01: 33,65	08.11.00: 34,42
unterer Sensor	25.01.01: -1,87	08.11.00: 1,95	14.08.01: 31,15	02.10.00: 34,84
Rohr 5				
oberer Sensor	31.12.01: -1,86	06.11.01: 0,52	03.09.02: 33,34	25.05.02: 34,57
unterer Sensor	26.04.02: -1,88	06.11.01: 1,17	03.09.02: 33,82	25.05.02: 34,78
Rohr 6				
oberer Sensor	09.12.01: -1,87	23.09.01: 1,87	30.08.02: 29,59	24.04.02: 34,37
unterer Sensor	29.02.02: -1,87	12.11.01: -1,15	06.09.02: 32,91	24.04.02: 34,38

*Tabelle 5.1: Minimale und maximale gefilterte Temperaturen und Salzgehalte der Rohre 2, 5 und 6, nach Sensoren aufgeteilt.*

Verankerungen vorbei. Wie beim oberen Sensor pendelte sich der Salzgehalt des unteren Sensors Ende Dezember auf seine Winterwerte ein. Im Winter zeigen sich immer wieder kleine Schwankungen, die auf Eisbildung zurückzuführen sind. Bei der Eisbildung wird das Salzgehalt durch verschiedene Prozesse aus dem Eis gepresst und an das Umgebungswasser abgegeben, sogenanntes „brine release“. Zwei Drittel des Salzgehaltes werden bei der Neueisbildung direkt an das Umgebungswasser abgegeben. Im darauffolgenden Sommer ist im Eis nur noch ein Bruchteil des ursprünglichen Salzgehaltes vorhanden, nämlich 5-10% (Aagaard und Carmack, 1989).

Anfang Juni beginnt auch der Salzgehalt des unteren Sensors zu sinken, bis er am 18. Juli 2001 sein absolutes Minimum erreicht. Vor der Aufnahme der Verankerung im September 2001 ist der Salzgehalt des unteren Sensors wieder leicht auf 34,09 gestiegen.

Beide Sensoren beschreiben einen gut sichtbaren saisonalen Zyklus. Während der Auslegung lässt die vorherrschende Eisbedeckung die Werte des oberen Sensors nicht so stark fallen, wie bei der Aufnahme der Verankerung im September 2001. Im Winter liegen die Salzgehalte beider Sensoren bis auf ein paar kleine Ausnahmen dicht beieinander, was für eine gut durchmischte Wassersäule spricht. Durch die Erwärmung der Wasseroberfläche im Sommer schmilzt das Eis, und es kann sich eine salzarme Deckschicht bilden.



## 5.2 Auswertungen von Rohr 5

Rohr 5 wurde am 12. September 2001 für ein Jahr auf dem ostgrönländischen Schelf bzw. nahe der Schelfkante ausgelegt. Zum Vergleich der Messdaten des Rohres mit den entsprechenden CTD-Stationen wurden dieselben Stationen wie bei Rohr 2 benutzt, siehe Abb. 5.2. Das untere Microcat von Rohr 5 hatte einen Drucksensor eingebaut, sodass leicht feststellbar war, wie gut die Sensoren gemessen haben und in welcher Tiefe sie sich befanden. Das obere Microcat war dasselbe, das auch als oberes Gerät in Rohr 2 benutzt wurde. Der Fahrtbericht zur Auslegung von Rohr 5 mit den dazugehörigen Verankerungsstationen und CTD-Stationenlisten kann aus Logemann (2001) entnommen werden. Bei der Aufnahme der Rohre 5 und 6 wurde keine CTD-Station auf den Verankerungspositionen gefahren, sondern nur ein Schnitt (Holfort, 2002), der auf einer Breite von  $74^{\circ}\text{N}$  lag und in der Länge von  $10^{\circ}0.0'\text{W}$  bis  $20^{\circ}40.0'\text{W}$  reichte. Die Abstände zwischen den einzelnen Stationen lagen bei 20 Längenminuten, über die interpoliert wurde. Aus diesem Grund ist ein Vergleich der Verankerungen mit den CTD-Messungen schwierig. In Abb. 5.5, Abb. 5.6 und Abb. 5.7 sind der Druck, die Temperaturen und Salzgehalte während ihrer einjährigen Auslegung in gefilterter Form dargestellt. Die blaue Kurve beschreibt jeweils den oberen Sensor, die rote den unteren Sensor. Der Druck zeigte für die ersten Messungen einen Wert von 84 und 124 dbar an. Das Rohr befand sich nur bei sehr geringen Strömungen in aufrechter Position mit einem Druckwert des unteren Sensors von 117 dbar. Unmittelbar nach der Auslegung zeigte der obere Sensor von Rohr 5 einen Wert von  $-1,43^{\circ}\text{C}$  für die Temperatur an, für den unteren Sensor  $-0,74^{\circ}\text{C}$ . Der oberen Sensor hat einen Salzgehalt von 34,25 und der unteren einen von 34,34 gemessen. Diese vier Werte wurden aus den Rohdaten gewonnen und werden nun mit den Temperatur- und Salzgehaltsschnitten der CTD verglichen. Im Temperaturschnitt wird für die Tiefe von 84 dbar ein Wert von  $-1,5^{\circ}\text{C}$  angegeben, nur wenige Meter über dem darauffolgenden Wert von  $-1,4^{\circ}\text{C}$ . Der untere Sensor liegt mit einer Tiefe von 124 dbar im Temperaturbereich der CTD von  $-0,7^{\circ}\text{C}$ . Dieser Wert stimmt mit dem gemessenen Wert der Verankerung überein, obwohl sich der untere Sensor in einem starken Temperaturgradienten mit einer Änderung von  $0,4^{\circ}\text{C}$

pro 10 m befindet. Für den Salzgehalt zeigt der Schnitt einen Wert von 34,2 in der Tiefe von 84 dbar an, was im Bereich des gemessenen Wertes des Rohres liegt. Die gemessenen Salzgehaltswerte des unteren Sensors (124 dbar) weichen von denen des CTD-Schnittes ab. Der Sensor liegt im unteren Drittel des Salzgehaltes von 34,4, Tendenz Richtung 34,5. Ein Grund für die Abweichung kann die zeitliche Differenz zwischen den CTD-Stationen untereinander oder zwischen den CTD-Stationen und der Auslegung des Rohres sein, da der untere Salzgehaltssensor (Abb. 5.7) einen Anstieg des Salzgehaltes auf 34,55 am darauffolgenden Tag verzeichnete. Insgesamt hat der obere Sensor, der auch in Rohr 2 verwendet wurde, in Rohr 5 genauer gemessen. Es ist davon auszugehen, dass die Sensoren in Rohr 5, aufgrund größerer Bohrlöcher, besser umströmt wurden als in Rohr 2.

### 5.2.1 Druck von Rohr 5

In Abb. 5.5 wird der gefilterte Druck von Rohr 5 im Verlauf des Jahres seiner Auslegung von September 2001 bis September 2002 dargestellt. Die Microcats in Rohr 5 befanden sich bei geringer Strömung auf einer Höhe von 77 und 117 m. Wenn von der Neigung des Rohres gesprochen wird, ist hiermit die Änderung des oberen Drucksensors mit der Tiefe gemeint. Der untere Drucksensor ändert sich somit zwangsläufig auch, wenn auch deutlich geringer. Durch die Strömung neigte sich das Rohr in drei Fällen bis um ca. 85 m. Diese großen Strömungen haben sich alle im Winter bzw. Frühjahr ereignet. Die größte Tiefe erreichte das Rohr am 26. November 2001 mit einer Neigung um 88 m. Ähnlich starke Neigungen waren am 29. Dezember 2001 und am 28. April 2002 zu verzeichnen, mit Neigungen um 85 bzw. 82 m. Generell fangen die stärkeren Neigungen (zwischen 35 und 40 m) des Rohres, durch die Herbststürme bedingt Ende September an. Ab Mitte Mai neigt sich das Rohr nur noch maximal bis auf 25 m, was vermutlich auch mit der Aussüßung der Wasseroberfläche durch die Eisschmelze und der damit verbundenen Abkopplung von der restlichen Wassersäule zusammenhängt. Im Sommer gibt es wenig Stürme, die die gesamte Wassersäule durchmischen, meist wird nur die Oberfläche vom Wind angeregt. Da Rohr 5 seinen oberen Sensor auf einer Tiefe von 75 m hatte, konnte der Wind keinen starken Einfluss auf die

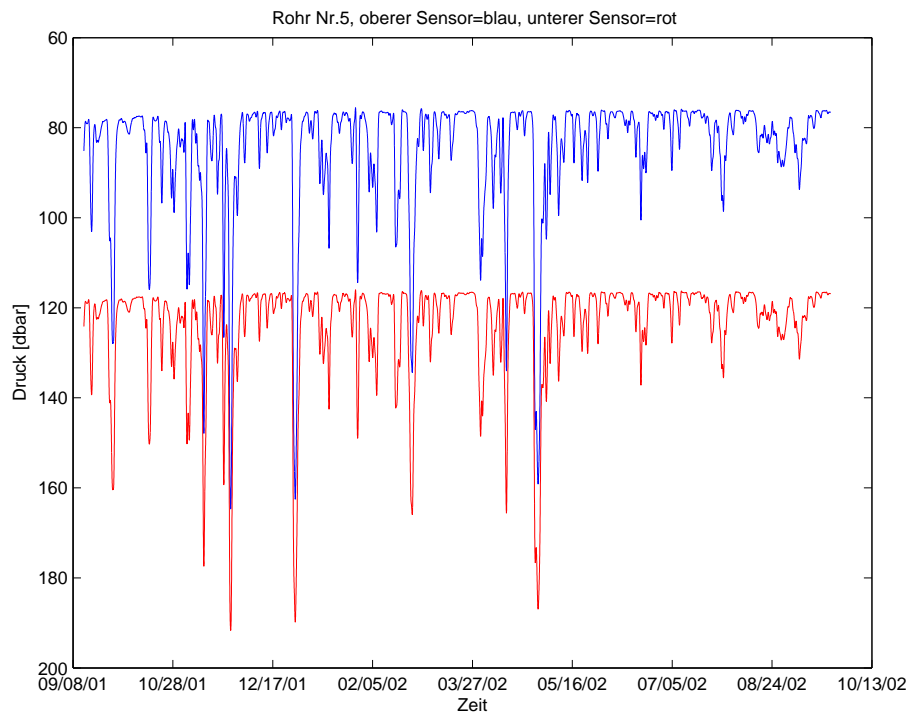


Abbildung 5.5: Druckzeitreihe von Rohr 5. Die blaue Kurve beschreibt die Druckverteilung des oberen Sensors und die rote die des unteren Sensors.

Strömungsgeschwindigkeiten in dieser Tiefe ausüben.

### 5.2.2 Temperatur von Rohr 5

Die Temperaturen von Rohr 5 (Abb. 5.6) schwanken sehr stark. Ein saisonaler Zyklus ist hier nur sehr schwach ausgeprägt. Die Temperaturen lagen nach der Auslegung bei  $-1,61^{\circ}\text{C}$ , stiegen Anfang November auf ihr absolutes Maximum (Tab. 5.1) an und fielen Mitte Dezember auf den Gefrierpunkt. Temperaturspitzen des oberen Sensors traten Ende Dezember, Ende April und Ende Mai auf und lagen zwischen  $-0,55$  und  $-0,25^{\circ}\text{C}$ . Die Temperaturen des oberen Sensors schwankten zwischen Anfang Februar und Anfang Mai und zwischen Mitte Juni und Anfang September 2002 zwischen Gefrierpunkt und  $-1,6^{\circ}\text{C}$ . Der obere Sensor verzeichnete einen leichten Abfall in der Temperatur ab Mitte Dezember und einen leichten, langsamen Anstieg ab Mitte Juni. Bei der Aufnahme am 22. September 2002 verzeichnete der obere Temperatursensor einen Wert von  $-1,58^{\circ}\text{C}$ .

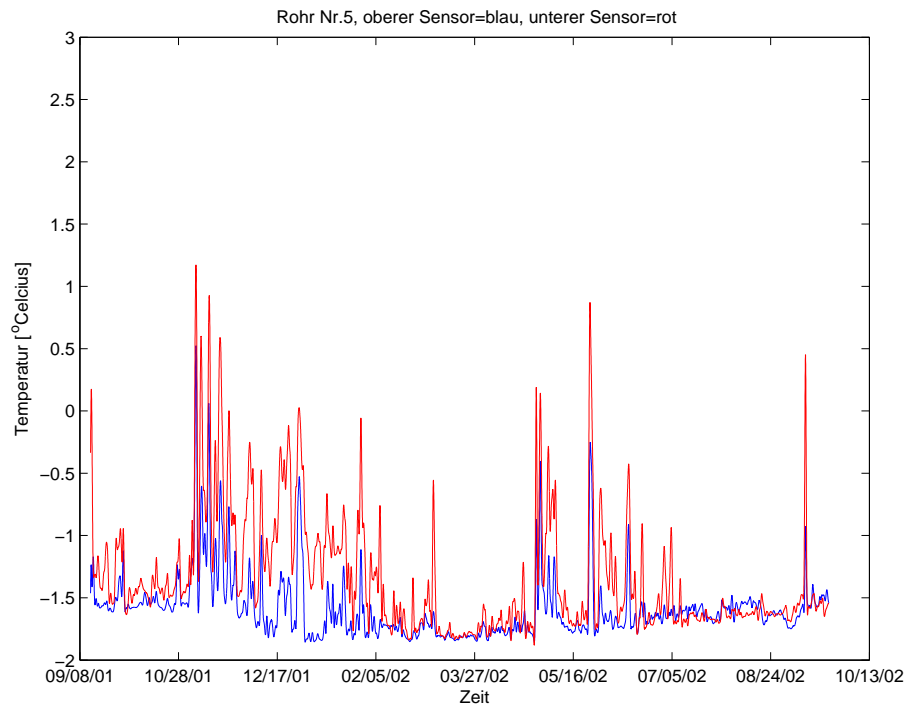


Abbildung 5.6: Temperaturzeitreihe von Rohr 5. Die blaue Kurve beschreibt die Temperatur des oberen Sensors und die rote die des unteren Sensors.

Der untere Sensor weist wesentlich stärkere Schwankungen in der Temperatur auf als der obere. Über das gesamte Jahr verteilt kommt es immer wieder zu Spitzenwerten um  $1^{\circ}\text{C}$ . Die Temperatur des unteren Sensors befindet sich zum selben Zeitraum in Gefrierpunktsnähe wie der obere. Über das gesamte Auslegungsjahr verteilt wurden regelmäßig Temperaturen gemessen die bis auf  $0^{\circ}\text{C}$  anstiegen. Die Temperaturen des unteren Sensors liegen während der gesamten Auslegung deutlich über den Temperaturen des oberen, mit einer Ausnahme von Mitte Mai bis Anfang September. Wenige Tage vor der Aufnahme der Verankerung verzeichnet der untere Sensor einen erneuten starken Anstieg in der Temperatur bis auf  $0,5^{\circ}\text{C}$ . Da Rohr 5 auf der Schelfkante verankert war und sich der untere Sensor in Tiefen zwischen 117 bis teilweise 190 dbar bewegt, könnten Ausläufer des rAW ein Grund für die meist höheren Temperaturen des unteren gegenüber denen des oberen Sensors sein.

### 5.2.3 Salzgehalt von Rohr 5

Beim Salzgehalt von Rohr 5 ist, wie in Abb. 5.7 ersichtlich, nur ein schwacher saisonaler Zyklus erkennbar. Zu Beginn der Auslegung verzeichnete der obere Sensor einen Salzgehalt von 34,25, der von Anfang bis Ende Oktober 2001 auf Werte bis 34,75 sank. Um den 6. November stiegen die Werte sprunghaft bis auf 34,5 an, was mit dem Beginn der Eisbildung (Ende Oktober) zusammenhängt, siehe dazu auch Abb. 5.14(B). Auf der Eiskarte ist die Eiskonzentration in Prozent verzeichnet und demnach lagen die Verankerungen seit Ende Oktober im Packeis, mit einer Bedeckung von 65%. Durch das „brine release“ wird das Salz aus dem Eis langsam an das Umgebungswasser abgegeben, wodurch dieses schwerer wird und somit die Konvektion antreibt. Es wird eine gewisse Zeit benötigt bis die Konvektion die Tiefe der Sensoren erreicht und sich dies im Salzgehaltssensor bemerkbar macht. Die Salzgehalte schwankten zwischen 34,0 und 34,25 im Winter/ Frühjahr. Ein starker Abfall wurde am 6. Mai 2002 verzeichnet, der aber nach kurzer Zeit auf 34,25 zurückging, um ein paar Wochen später noch einmal anzusteigen. Dieser Anstieg ist gleichzeitig das absolute Maximum des oberen Sensors (Tab. 5.1). Anfang Juni begann der Salzgehalt zu fallen, bis er sein absolutes Minimum am 3. September 2002 erreichte. Kurz vor der Aufnahme der Verankerung stieg der Salzgehalt noch einmal an. Dieser Anstieg wurde auch in der Temperatur verzeichnet, was die Vermutung bestätigt, dass Ausläufer des rAW von den Sensoren gemessen wurden. Vor der Aufnahme der Verankerung wurde ein Salzgehalt von 34,0 gemessen.

Der Salzgehalt des unteren Sensors verzeichnete während der gesamten Auslegung höhere Werte als der obere Sensor. Tendenziell verhielten sich beide Sensoren gleich, nur fiel der Salzgehalt des unteren Sensors nicht so stark ab, wie der des oberen Sensors. Zu Beginn der Auslegung wurde ein Salzgehalt von 34,34 gemessen, der wie beim oberen Sensor in den darauf folgenden Wochen leicht absank, um dann um den 6. November stark anzusteigen. Im Winter schwankten die Werte um 34,25. Am 30. April und 25. Mai 2002 wurden zwei Ausreißer verzeichnet, wobei der im Mai auch gleichzeitig das absolute Maximum darstellte. Ebenso wie beim oberen Sensor fiel ab Anfang Juni der Salzgehalt des unteren Sensors ab

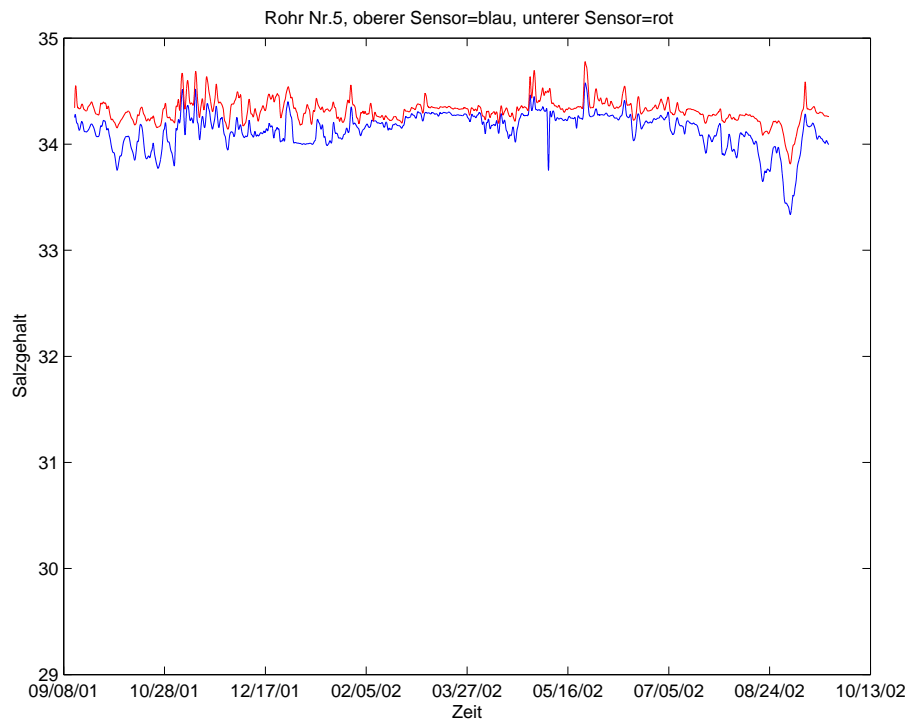


Abbildung 5.7: Salzgehaltszeitreihe von Rohr 5. Die blaue Kurve beschreibt den Salzgehalt des oberen Sensors und die rote den des unteren Sensors.

und hatte sein absolutes Minimum am 3. September. Wenig später stieg er wieder stark an. Bei der Aufnahme der Verankerung war der Salzgehalt etwas niedriger, bei 34,26. Die starken Anstiege im Salzgehalt während der Auslegung stammen von Wasser atlantischen Ursprungs (rAW).

### 5.3 Auswertungen von Rohr 6

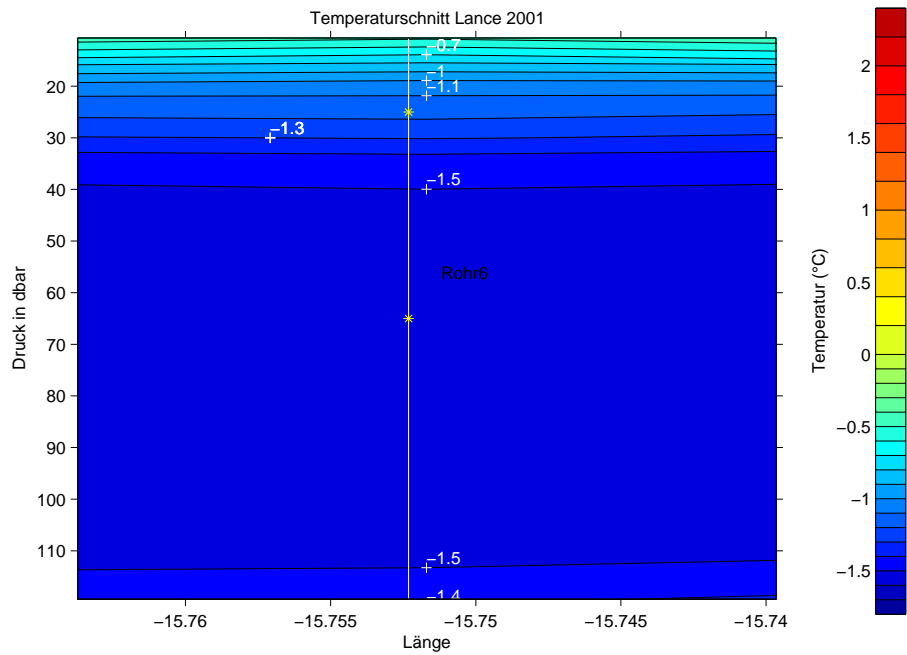
Rohr 6 wurde am 12. September 2001 15 Längenminuten weiter westlich auf dem ostgrönländischen Schelf ausgelegt als Rohr 5 und am 21. September 2002 wieder aufgenommen. Das Rohr befand sich am dichtesten unter der Wasseroberfläche und hatte seine Messgeräte bei 17 und 57 dbar, daher ist der saisonale Zyklus bei dieser Verankerung am ausgeprägtesten. Der Drucksensor war im oberen Microcat eingebaut. Die für Rohr 6 relevanten CTD-Stationen wurden am 10. und 12. September 2001 erstellt. Der Vergleich der Temperatur- und Salzgehaltsdaten der Verankerung mit den CTD-Schnitten wird die Messgenauigkeit der Sensoren

darlegen. Wie bei Rohr 5 werden für den Vergleich die Rohdaten benutzt. Für die Auswertung des Druckes (Abb. 5.9), der Temperatur (Abb. 5.10) und des Salzgehaltes (Abb. 5.11) werden die tiefpassgefilterten Daten benutzt, da in den ungefilterten Daten das Rauschen zu stark ist. Die Fahrtberichte für die Auslegung und Aufnahme der Verankerung wurden von Logemann (2001) und Holfort (2002) verfasst.

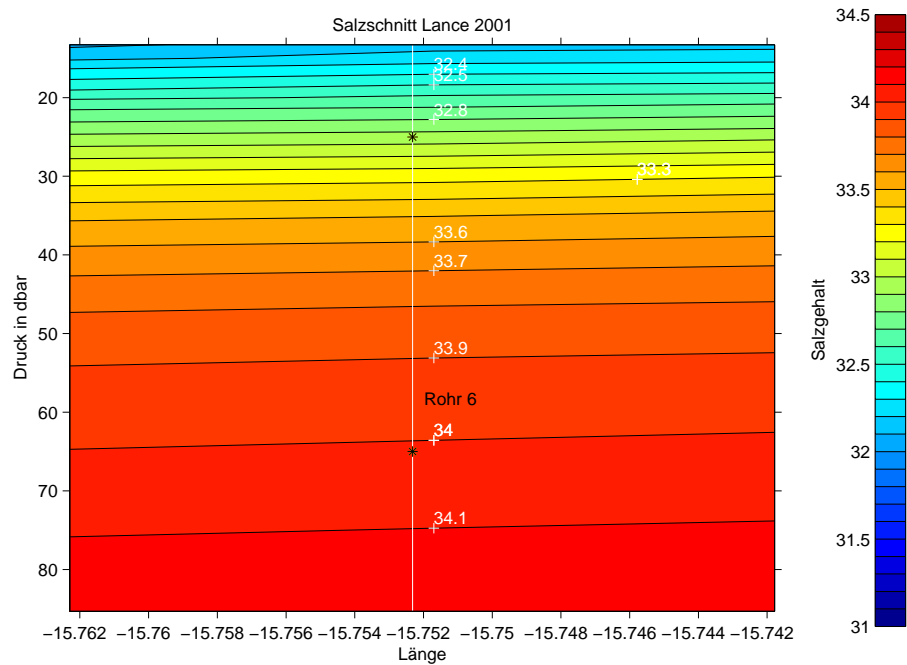
Unmittelbar nach der Auslegung befanden sich die Sensoren in Tiefen von 25 und 65 dbar (Tab. 3.1). Die Temperatursensoren von Rohr 6 zeigen Werte von  $-1,23^{\circ}\text{C}$  für den oberen Sensor an und  $-1,55^{\circ}\text{C}$  für den unteren. Der obere Salzgehaltssensor hatte einen Wert von 33,02 gemessen und der untere einen Wert von 34,03. Betrachtet man den CTD-Schnitt, so ist feststellbar, dass sich der obere Sensor in einem Temperaturgradienten und einem sehr starken Salzgehaltsgradienten befand. Für den oberen Sensor gibt der Temperaturschnitt einen Wert von gerade noch  $-1,1^{\circ}\text{C}$  fast schon  $-1,2^{\circ}\text{C}$  an. Diese geringe Abweichung ist aufgrund des Gradienten akzeptabel, der eine Abweichung von  $0,3^{\circ}\text{C}$  pro 10 m aufweist. Der untere Sensor befand sich in einer von 30 bis 100 m reichenden Schicht mit einer Temperatur von  $-1,5^{\circ}\text{C}$ . Im Salzgehaltsschnitt befand sich der obere Sensor in einem starken Gradienten mit einer Abweichung von 0,6 pro 10 m. Der obere Sensor hatte einen Wert von 32,9 und der untere Sensor einen 34,0 gemessen. Der gemessene Salzgehalt des oberen Sensors lag also um 0,1 höher als der des CTD-Schnittes, was sehr wenig ist, wenn man bedenkt wie klein die einzelnen Abstände zwischen den Salzgehaltswerten sind. Der untere Sensor stimmt mit dem CTD-Schnitt überein, obwohl der Sensor gerade eben im Bereich von 34,0 liegt. Wie schon in beim Vergleich der Sensoren von Rohr 5 mit den CTD-Messungen, stellt sich für die Betrachtung von Rohr 6 heraus, dass der Sensor, der schon in Rohr 2 verwendet wurde, in Rohr 6 präziser gemessen hat.

### 5.3.1 Druck von Rohr 6

Der Verlauf des Druckes während der einjährigen Auslegung ist in Abb. 5.9 dargestellt. Es werden nur die Änderungen im oberen Sensor besprochen, da sie den besten Eindruck von den Neigungen des Rohres vermitteln und sich den Neigung-



A



B

Abbildung 5.8: Temperatur- und Salzgehaltsschnitt der CTD-Stationen Nr. 3, 21 und 23 (Lance-Fahrt, September 2001) mit der Verankerungsposition von Rohr 6, Temperatur (A), Salzgehalt (B). Die Sternchen zeigen die Höhe der Geräte innerhalb von Rohr 6 an.



gen des unteren Sensors entsprechen. Insgesamt fiel der Druck von Rohr 6 nicht so stark ab wie bei Rohr 5. Das Rohr 6 neigte sich am 2. und 11. November 2001 auf jeweils 66 und 63 dbar, was Auslenkungen um 49 und 46 m entspricht, wobei es sich hier um die maximalen Auslenkungen handelt. Der Verlauf des Druckes von Rohr 6 ähnelt dem Verlauf von Rohr 5. Die ersten größeren Auslenkungen um 24 m begannen Ende September und sind die Vorboten für den Winter. Bei den Maxima Anfang und Mitte November handelte es sich um große Strömungsereignisse, wie in Abb. 3.7 ersichtlich. Von November bis Ende April (29.04.2002) lagen die größten Neigungen zwischen 25 und 30 m. Bis zur Aufnahme gab es noch einmal eine Neigung auf 17 m, ansonsten keine weiteren. In den Sommermonaten des Jahres 2002 verliefen die Auslenkungen meist über einen längeren Zeitraum als im Winter.

Vergleicht man die Neigungen von Rohr 6 mit Rohr 5 so ist feststellbar, dass viele der größeren Neigungen zum selben Zeitpunkt stattgefunden haben, die von Rohr 6 aber wesentlich schwächer ausgeprägt waren als bei Rohr 5. Desweiteren sind die Spitzen zeitlich versetzt. Bei Rohr 5 traten sie etwas früher ein, da dieses Rohr östlich von Rohr 6 lag und die Wellen sich in Richtung Küste bewegen. Die weniger starke Ausprägung der Spitzen hängt mit dem kürzeren Seil von Rohr 6 zusammen, da es sich aufgrund dessen weniger stark neigen kann. Es konnten keine Anzeichen von Auslenkungen durch Eis festgestellt werden, da alle großen Auslenkungen durch große Strömungsereignisse hervorgerufen wurden, wie in Abb. 3.7 zu sehen ist.

### 5.3.2 Temperatur von Rohr 6

In der Temperaturzeitreihe von Rohr 6 (Abb. 5.10) ist eindeutig ein saisonaler Zyklus zu erkennen. Dieser Zyklus ist noch um einiges stärker ausgeprägt als bei Rohr 2, möglicherweise aufgrund der fehlenden Eisbedeckung bei der Auslegung und bei der Aufnahme, wohingegen Rohr 2 im Jahr 2000 im Eis ausgebracht wurde. Bei der Auslegung am 12. September 2001 zeigte der obere Sensor einen Temperaturwert von  $-1,23^{\circ}\text{C}$  an, der in den nächsten 11 Tagen auf seinen Maximalwert stieg. Anschließend fiel die Temperatur wieder und näherte sich am

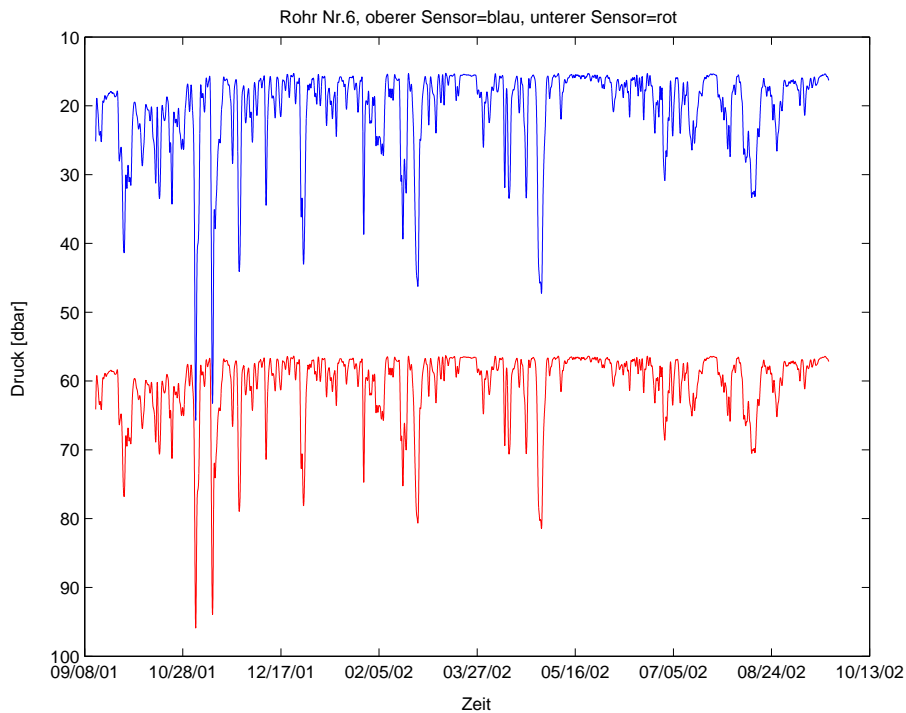


Abbildung 5.9: Druckzeitreihe von Rohr 6. Die blaue Kurve beschreibt die Druckverteilung des oberen Sensors und die rote die des unteren Sensors.

17. Oktober den Winterwerten. Im Winter liegen die Temperaturen beider Sensoren knapp über dem Gefrierpunkt. Wie in Abb. 5.14 zu sehen ist, begann sich das Eis in dieser Zeit über den Verankerungen auszubreiten und hatte die Meeresoberfläche über den Verankerungen am 25. Oktober schon zu 65% bedeckt. Den gesamten Winter über blieben die Temperaturen in Gefrierpunktsnähe, bis sie um den 4. Juni 2002 kontinuierlich anstiegen. Am 17. September 2002 hatten die Temperaturen wenige Tage vor der Aufnahme der Verankerung ihre höchsten Werte mit  $1,7^{\circ}\text{C}$  erreicht. Direkt vor der Aufnahme zeigte der obere Sensor einen Temperaturwert von  $1,3^{\circ}\text{C}$  an.

Die Temperaturschwankungen des unteren Sensors bewegten zwischen  $-1,15^{\circ}\text{C}$  im Maximum am 12. November 2001 und dem Gefrierpunkt. Am Tag der Auslegung verzeichnete der untere Sensor einen Wert von  $-1,55^{\circ}\text{C}$ . Um den 15. November hatten die Temperaturen ihre Winterwerte erreicht, in einzelnen Spitzen stiegen die Temperaturen bis auf  $-1,4^{\circ}\text{C}$  an. Ein leichter Anstieg der Temperatur wurde zum selben Zeitpunkt wie beim oberen Sensor verzeichnet. Kurz vor der Aufnah-

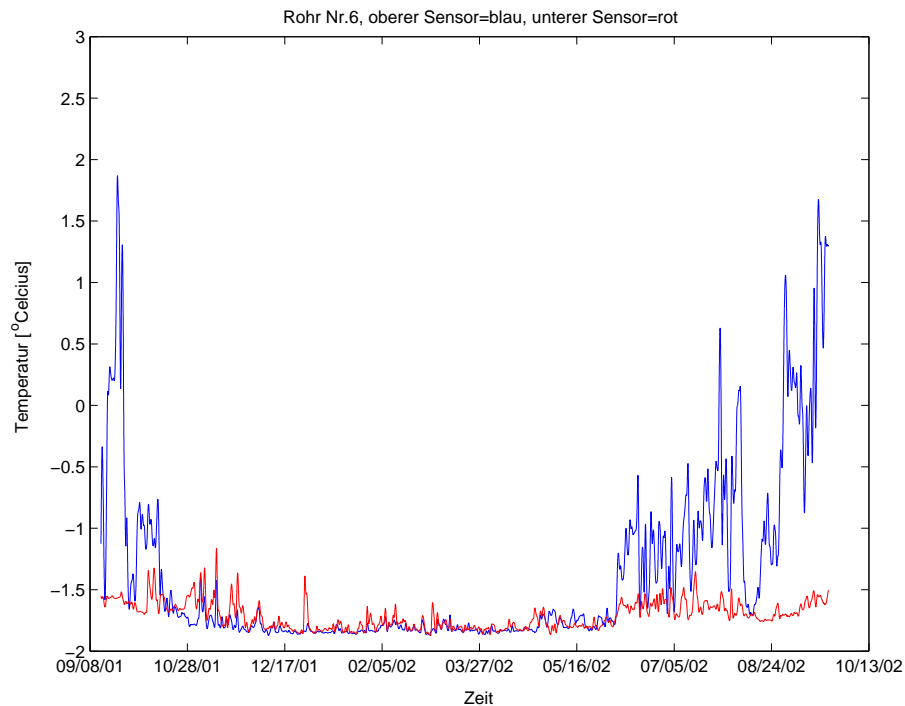


Abbildung 5.10: Temperaturzeitreihe von Rohr 6. Die blaue Kurve beschreibt die Temperatur des oberen Sensors und die rote die Temperatur des unteren Sensors.

me der Verankerung verzeichnete der untere Sensor eine Temperatur von  $-1,4^{\circ}\text{C}$ . Vergleicht man die drei Rohre, so lässt sich feststellen, das Rohr 6 das westlichste war und direkt auf dem ostgrönländischen Schelf in geringer Wassertiefe lag. Somit hatte dieses Rohr seine Sensoren direkt im PW und hier lassen sich keine Einflüsse von Atlantischem Wasser feststellen, so wie deutlich sichtbar bei Rohr 5 und eventuell auch beim unteren Sensor von Rohr 2 Ende 2000. Beim Vergleich der Temperaturzeitreihen der Verankerungen mit den Temperaturschnitten der Jahre 2001 und 2002 in Abb. 5.17 scheint sich diese Vermutung zu bestätigen. Rohr 2 wurde nicht im Schnitt eingezeichnet, aufgrund seiner dichten Lage zu Rohr 5.

### 5.3.3 Salzgehalt von Rohr 6

Der Salzgehalt des oberen Sensors von Rohr 6 (Abb. 5.11) zeigte kurz nach der Auslegung einen Wert von 33,03 an. Anschließend fiel der Salzgehalt für wenige Tage, stieg wieder an, um dann am 12. Oktober 2001 sein Minimum bei 30,74 zu

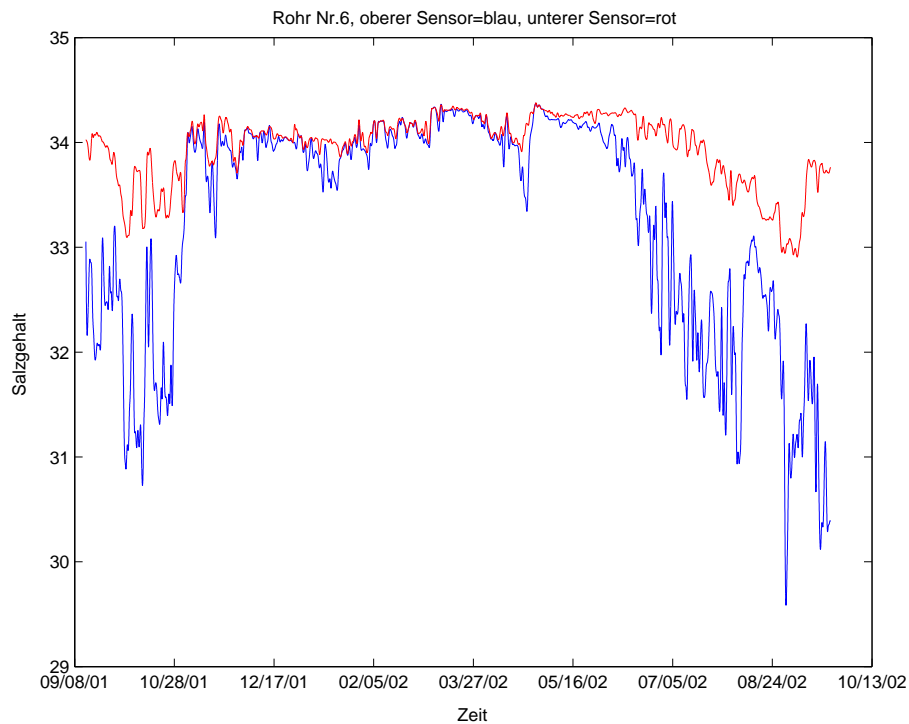


Abbildung 5.11: Salzgehaltszeitreihe von Rohr 6. Die blaue Kurve beschreibt den Salzgehalt des oberen Sensors und die rote den des unteren Sensors.

erreichen. Um den 15. Oktober stieg der Salzgehalt noch einmal auf sein Anfangsniveau und fiel dann erneut ab, allerdings nicht so tief wie am 12. Oktober und erreichte sein Winterniveau am 4. November. Im Winter schwankte der Salzgehalt des oberen Sensors um einen Wert von 34, mit Ausnahmen am 18. November 2001 und am 23. April 2002, wo er in Spitzen bis auf 33,09 und 33,34 fiel. Wie bei der Temperatur fiel der Salzgehalt am 4. Juni kontinuierlich, mit ein paar kurzzeitigen Anstiegen. Das absolute Minimum wurde am 30. August erreicht. Nach einem erneuten Anstieg bis auf 32,27 am 10. September 2002 fiel er kurz vor der Aufnahme des Rohres auf 30,39.

Der untere Sensor mass nach der Auslegung einem Salzgehaltswert von 34,03, der aber nur von kurzer Dauer war, da der Salzgehalt am 3. Oktober 2001 auf ein Minimum von 33,09 fiel. Bis zum Erreichen des Winterniveaus am 4. November stieg und fiel der Salzgehalt noch einige Male. Anschließend schwankte der Salzgehalt bis zur Eisschmelze im späten Frühjahr um einen Wert von 34,1. Der Salzgehalt des unteren Sensors fing etwas später an zu sinken als der des oberen Sensors,

und zwar am 18. Juni. Bis zum 6. September sank der Salzgehalt kontinuierlich, bis er an seinem absoluten Minimum ankam, um wenige Tage vor der Aufnahme bis auf einen Wert von 33,76 wieder anzusteigen. Das absolute Maximum beider Sensoren ist am selben Tag zu finden, am 24. April 2002. Diese Daten sind der Tab. 5.1 zu entnehmen.

Auch im Salzgehalt von Rohr 6 ist der saisonale Zyklus am stärksten ausgeprägt. Die Aussüßung zu Beginn und zum Ende der Auslegung wurde im September 2001, wie im September 2002 beobachtet, da das Gebiet über den Verankerungen zu diesen Zeiten komplett eisfrei war. Im Winter schwanken die Salzgehalte ein wenig, da sich immer wieder Eis bildet und dadurch das Salz an das Umgebungswasser abgegeben wird, was wiederum den Salzgehalt ansteigen lässt. Die Salzgehaltsschwankungen zu Beginn der Auslegung entstehen durch die Vermischung, die einsetzt, sobald sich die Wasseroberfläche abkühlt.

## 5.4 Eisbedeckung

Die Wasseroberfläche über den Verankerungen ist den größten Teil des Jahres eisbedeckt. Die saisonalen Veränderungen von Rohr 6 sollen mit eventuellen Änderungen in der Eisbedeckung der Abb. 5.12 (A-L) verglichen werden, da die Temperaturen und Salzgehalte besonders an der Oberfläche von der Eisbedeckung abhängen. Diese Abhängigkeiten wurden von Polyakov et al. (1999) in einem Modell simuliert und bestätigt. Laut Martin und Wadhams (1999) ist die Eisbedeckung im nördlichen Teil des EGC am größten und am weitesten ausgedehnt und nimmt in Richtung Süden immer weiter ab. Es gibt zwei getrennte Maxima in der Eisbedeckung, eines im Herbst (November/ Dezember) und eines im Frühjahr (April/ Mai). Hierbei muss erwähnt werden, dass die Daten von Martin und Wadhams (1999) aus Messungen von 1993 und 1994 stammen, wobei diese beiden Jahre eine ungewöhnlich geringe Eisbedeckung aufwiesen.

Die Eisbedeckung von Oktober 2001 bis September 2002 zeigt in Abb. 5.12(A-L) auf der Höhe von 74°N ein gänzlich anderes Bild. Zwischen Oktober und November (Abb. 5.12(A & B)) bildete sich die Eisdecke über den Rohrverankerungen aus, sie zog sich Anfang Dezember (Abb. 5.12(C)) noch einmal etwas

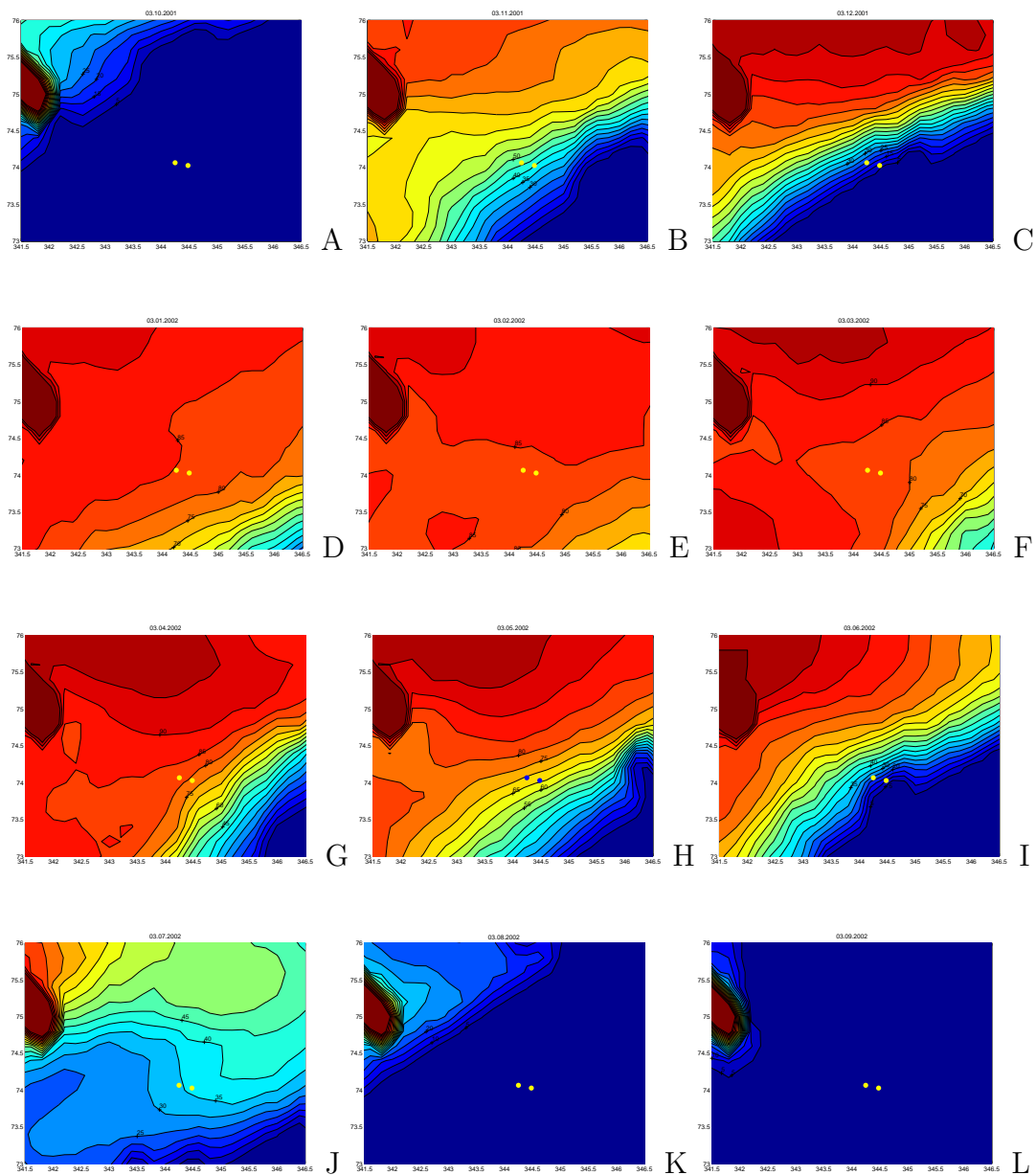


Abbildung 5.12: Karten der Eisbedeckung von Oktober 2001 (A) bis September 2002 (L). Es wurden die Karten immer am 3. eines jeden Monats gewählt. Eisbedeckung in Prozent: dunkelrot= 100% bis dunkelblau= 0%; Land= braun. Die Punkte markieren die Positionen von Rohr 5 und 6.

zurück und hatte von Januar bis April mit 80% ihre größte Ausbreitung, wie in den Abb. 5.12(D-G) zu sehen ist. Im Mai (Abb. 5.12(H)) begann der Rückzug der Eisbedeckung, der im Juni (Abb. 5.12(I)) schon stark vorangeschritten war und bis Juli (Abb. 5.12(J)) zwischen 20 und 35% schwankte. Anfang August und Anfang September (Abb. 5.12(K & L)) war die Wasseroberfläche über den Veran-

kerungen komplett eisfrei, was auch bis zur Aufnahme am 22. September so blieb.

Diese Eiskarten stimmen sehr gut mit den Salzgehalts- und Temperaturmessungen von Rohr 6 überein. Das Salzgehaltsminimum im Oktober ist in der Eiskarte mit einer eisfreien Wasseroberfläche zu sehen. Der Salzgehaltsanstieg Anfang November spiegelt sich in der Eisbedeckung mit einer Bedeckung von 40 bis 45% wieder. Das Salzgehaltsminimum Ende April kann in den Eiskarten, die immer den Anfang jeden Monats zeigen, nicht bestätigt werden. Der Rückgang der Eisbedeckung, der im Mai begann, machte sich im Salzgehalt und in der Temperatur von Rohr 6 erst Anfang Juni bemerkbar, da das Eis erst abschmelzen muss, bevor sich die Wasseroberfläche erwärmt oder aussüßt. Der stetige Rückgang des Salzgehaltes und der Anstieg der Temperatur sind mit den Eiskarten von Anfang Juni bis September konform.

Die Abb. 5.13, Abb. 5.14 und Abb. 5.15 zeigen die Eisbedeckung zu bestimmten Zeitpunkten während der Auslegung der Rohre 2, 5 und 6. In Abb. 5.13(A) ist die Eisbedeckung während der Auslegung von Rohr 2 zu sehen. Die Eisbedeckung betrug 25% während der Auslegung und spiegelt sich sehr gut in den Salzgehaltsmessungen des Rohres wieder. Der Salzgehalt des oberen Sensors fiel zu Beginn der Auslegung bis Ende 2000 auf weniger niedrige Werte als im darauffolgenden Sommer, da die Wasseroberfläche aufgrund der Eisbedeckung nicht so stark aussüßen konnte.

In Abb. 5.13(B) zeigt sich, dass sich das Eis an der Verankerungsposition komplett zurückgezogen hatte. Die Abb. 5.14(A & B) geben ein Beispiel, wie sich die Eisbedeckung innerhalb weniger Tage bis auf 65% aufbauen kann. Dieses Beispiel ist gut mit der Temperatur von Rohr 6 vergleichbar. Am 17. Oktober 2001 hatten die Temperaturen fast ihr Winterniveau erreicht und das Eis begann sich über die Verankerungen zu schieben. Wenige Tage später, am 25. Oktober 2001, lag die Eisbedeckung bereits bei 65% und die Temperaturen des oberen Sensors von Rohr 6 hatten ihr Winterniveau erreicht. Der Salzgehalt stieg langsam auf die Winterwerte an und erreichte diese um den 4. November 2001.

Die Abb. 5.15 (A & B) zeigen die Eisbedeckung zum Ende der Auslegung. Am 4. Juni 2002 begann der kontinuierliche Anstieg in der Temperatur und der gleich-

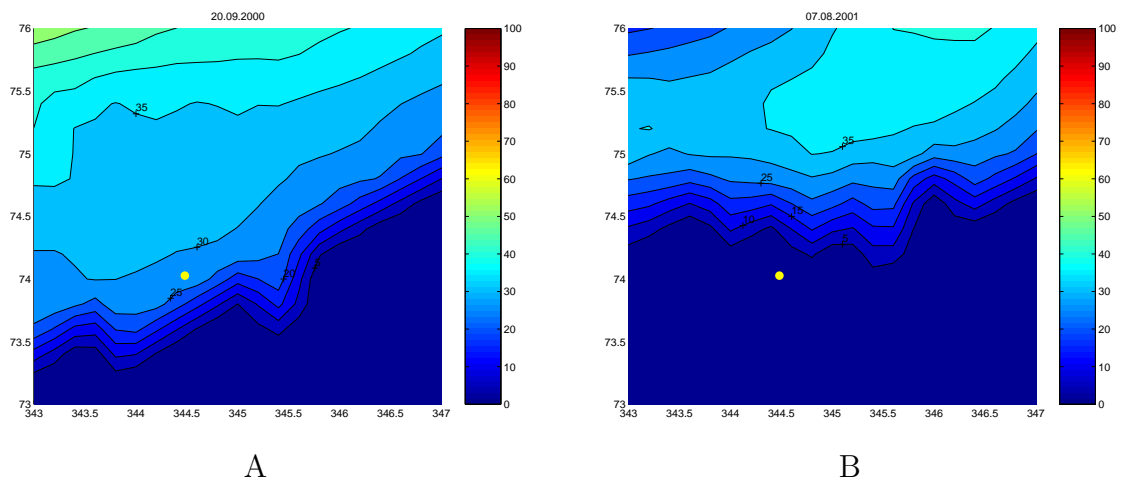


Abbildung 5.13: Karte der Eisbedeckung in Prozent, Auslegung von Rohr 2, September 2000 (A), Maximale Schichtung im Salzgehalt von Rohr 2, August 2001 (B). Der Punkt markiert die Position von Rohr 2.

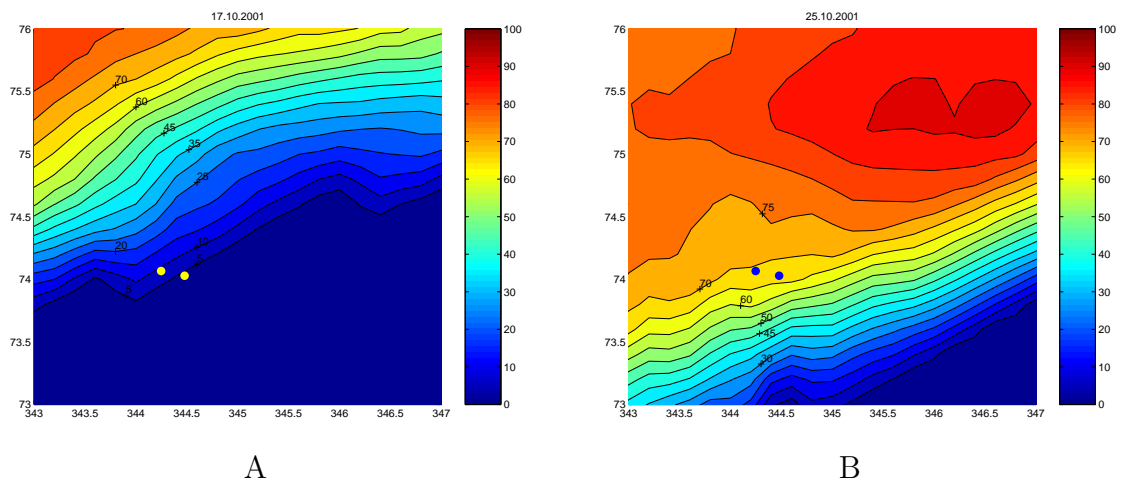


Abbildung 5.14: Karte der Eisbedeckung in Prozent. Beginn der Eisbildung, Oktober 2001 (A); Anstieg im Salzgehalt des oberen Sensors von Rohr 6 (B). Die hellen und dunklen Punkte markieren die Positionen von Rohr 5 und 6.

zeitige Abfall im Salzgehalt, welches in der Abb. 5.15(A) mit einem Rückgang der Eisbedeckung auf 25 bzw. 35% dargestellt wird. Die Erfassung dieser Änderungen durch die Sensoren erfolgt verzögert. Wie in Abb. 5.15(B) ersichtlich, ist die Aussüßung am 13. Juli 2002 abgeschlossen.



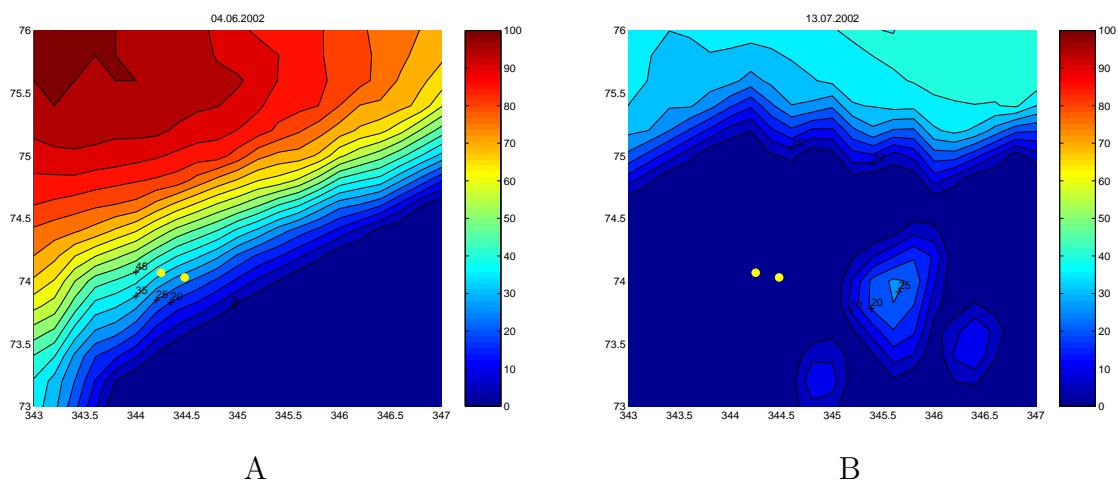


Abbildung 5.15: Karte der Eisbedeckung in Prozent. Beginn der Eisschmelze, Juni 2002 (A); Ende der Aussüßung, Juli 2002 (B). Die hellen und dunklen Punkte markieren die Positionen von Rohr 5 und 6.

## 5.5 Auswertung der CTD-Daten der Jahre 2000-2002

Im folgenden Kapitel werden die Schnitte der CTD-Daten aus den Jahren 2000 bis 2002 miteinander verglichen. Die CTD-Schnitte verliefen alle ungefähr bei  $74^{\circ}\text{N}$  und wurden jeweils im September aufgenommen. Der Schnitt aus dem Jahr 2000 war der kürzeste, er verlief auf einer Länge von  $10^{\circ}0.0'\text{W}$  bis  $14^{\circ}26.4'\text{W}$  und auf einer Breite von  $73^{\circ}52.1'\text{N}$  bis  $74^{\circ}0.0'\text{N}$ . In Abb. 5.16 sind die Temperaturen (A) und Salzgehalte (B) bis in eine Tiefe von 1500 m zu sehen. Die eigentliche Wassertiefe in diesem Teil der Grönlandsee liegt bei ca. 3000 m, die Messungen wurden aber aus technischen Gründen nur bis zu einer Tiefe von 1500 m vorgenommen. In Abb. 5.17(A) und Abb. 5.18(A) sind die Temperaturen und Salzgehalte der CTD von September 2001 zu sehen. Hier verlief der Schnitt über eine Länge von  $14^{\circ}31.6'\text{W}$  bis  $17^{\circ}39.2'\text{W}$  und eine Breite von  $73^{\circ}51.9'\text{N}$  und  $74^{\circ}21.6'\text{N}$  mit einer maximalen Wassertiefe von 2000 m. Die Temperatur- und Salzgehaltsschnitte von September 2002 sind in den Abb. 5.17(B) und Abb. 5.18(B) zu sehen. Dieser Schnitt verlief exakt auf der Breite von  $74^{\circ}\text{N}$  und reichte in der Länge von  $10^{\circ}$  bis  $20^{\circ}40.0'\text{W}$ . Die maximale Wassertiefe lag bei 3100 m. Die Position von Rohr 2 konnte in den Schnitten von 2000 nicht eingezeichnet werden, da sich diese außerhalb des Schnittes befand. In den Schnitten von 2001 und 2002 sind die Positionen

der Rohre 5 und 6 vermerkt. Weiterhin werden die  $\theta/S$ -Diagramme, die zu diesen Schnitten erstellt wurden, analysiert und die einzelnen Wassermassen herausgearbeitet, die bereits in Kapitel 2.3 vorgestellten wurden. Die Wassermassen werden anschließend in den CTD-Schnitten örtlich zugeordnet.

### 5.5.1 CTD-Schnitte

Bei der Auslegung von Rohr 2 herrschte auf dem Schelf eine Eisbedeckung von 25% (siehe Abb. 5.13(A)), die Bereiche östlich des Schelfhangs waren allerdings eisfrei. In den darauffolgenden Jahren war das gesamte Messgebiet stets eisfrei und somit könnten unterschiedliche Verhältnisse an der Oberfläche in den jeweiligen Jahren auftreten. In allen Temperaturschnitten tritt eine Gemeinsamkeit an der Oberfläche auf, und zwar ist stets eine warme Deckschicht vorhanden, die in der offenen Grönlandsee höhere Werte annimmt als über dem Schelf. Ähnliches gilt für den Salzgehalt, wobei die salzarme Schicht über dem Schelf wesentlich stärker ausgeprägt ist als an der Oberfläche der offenen Grönlandsee. Diese Oberflächenschicht verringert sich deutlich bei einer Länge von ca.  $15^\circ\text{W}$  im September 2001 und im Jahr darauf bei ca.  $14^\circ30'\text{W}$ . Von der Schelfkante in ca. 200 m Wassertiefe bis zur Oberfläche bei ca.  $14^\circ\text{W}$  zieht sich jeweils ein starker Temperatur- und Salzgradient, der gleichzeitig die Grenze des PW ist, wobei es auch Ausläufer bis auf den Schelfhang hinaus gibt. Solche Ausläufer kälteren Wassers mit Temperaturen bis  $0^\circ\text{C}$  wurden im September 2000 gemessen, welche bis zu einer Länge von  $12^\circ\text{W}$  reichten. Diese Ausläufer können auf die Eisbedeckung im September 2000 zurückgeführt werden, da sie in den folgenden Jahren nicht so weit in die Grönlandsee hinaus reichen. Vergleicht man die obersten 250 m der Temperatur- und Salzgehaltsschnitte aus den Jahren 2000 mit denen von 2002, so ist im September 2000 ein ovaler Bereich zwischen  $11^\circ\text{W}$  und  $14^\circ\text{W}$  mit Temperaturwerten um  $2,4^\circ\text{C}$  und Salzgehalten um 34,96 zu finden. Zwei Jahre später sind in diesem Bereich auch erhöhte Temperatur- und Salzgehaltswerte zu finden, die aber insgesamt niedrigere Werte erreichen als im Jahr 2000. Temperaturen und Salzgehalte, die dieselben Werte wie im Jahr 2000 aufweisen, konzentrieren sich mehr über der Schelfkante.

Ein großer Unterschied zwischen dem Temperatur- und Salzgehaltsschnitt von September 2000 und denen der darauffolgenden Jahre liegt in größerer Tiefe. Der Temperaturschnitt von 2000 weist in einer Tiefe von ca. 700 bis 1400 m auf einer Länge von  $10^{\circ}\text{W}$  bis ca.  $12^{\circ}30'\text{W}$  eine Temperatur von  $-0,8^{\circ}\text{C}$  auf. In den folgenden beiden Jahren, existiert kein so ein großer Bereich mit einem solchen Wert an der Stelle. 2001 ist dieser Temperaturbereich auf eine sehr kleine Fläche beschränkt und auch ein Jahr später wird so eine Flächenausdehnung nicht mehr erreicht. Im Salzgehaltsschnitt von 2000 wird über die gesamte Länge des Schnittes in einer Tiefe von 600 bis 1400 m ein Salzgehalt von 34,89 gemessen. Im Jahr 2001 fällt dieser Bereich wesentlich kleiner aus und im Jahr 2002 ist er in dieser Tiefe kaum vorhanden.

Im Gegensatz zu den CTD-Schnitten von September 2001 und 2002 fällt der Temperaturgradient 2000 in Richtung Schelfhang nicht ab, sondern steigt leicht an. Da der Schnitt von 2000 allerdings kurz vor dem Erreichen des Hanges beendet wurde, kann nur vermutet werden, wie sich der Gradient direkt am Hang verhält. Im Temperaturschnitt von 2001 fällt der Gradient nicht so stark wie in dem Schnitt ein Jahr später. Der Temperaturgradient reicht im September 2002 sogar bis in 1600 m Tiefe. Generell ist am Schelfhang kein großer Salzgehaltsgradient zu finden, dieser befindet sich mehr an der Schelfkante und endet bereits in 300 m Tiefe. Direkt unter der salzarmen Oberfläche zwischen  $10^{\circ}\text{W}$  und  $15^{\circ}30'\text{W}$  befindet sich eine salzreiche Schicht von rAW, die ihre höchsten Werte auf der Höhe der Schelfkante hat. Diese Schicht ist im September 2001 stärker ausgebildet, als im September 2002. Die Höchstwerte des Salzgehaltes in dieser Schicht liegen 2002 etwas höher als in 2001. In den Temperaturplots ist diese Schicht mit einem warmen Kern auch oberhalb der Schelfkante zu finden. Ihre Ausprägung ist identisch mit der des Salzgehaltes. Im September 2002 befindet sich der Kern mit Maximalwerten von  $2,5^{\circ}\text{C}$  direkt auf der Höhe des Schelfhangs. Im September 2001 zeigen sich die Maximalwerte direkt an der Oberfläche und Temperaturen bis  $1,5^{\circ}\text{C}$  befinden sich in Form einer Zunge über der Schelfkante. Direkt über dem Schelf in einer Tiefe von 20 bis 180 m ist eine sehr kalte Schicht mit Temperaturen von  $-1,4$  bis  $-1,6^{\circ}\text{C}$  in den Jahren 2001 und 2002 zu finden. An der Oberfläche liegen die Temperaturen durch die sommerliche Erwärmung im

September 2001 bei ca.  $0,5^{\circ}\text{C}$  und im September 2002 bei  $1,5^{\circ}\text{C}$ . Die Temperaturen über dem Schelf sind sowohl an der Oberfläche, wie auch am Boden stark geschichtet. Am Boden werden Temperaturen bis  $0,8^{\circ}\text{C}$  erreicht. Der Salzgehalt ist über die komplette Tiefe über dem Schelf geschichtet. Die Werte beginnen in den Jahren 2001 und 2002 bei 31,5 und reichen 2001 bis 34,6 und im Jahr 2002 an der tiefsten Stelle bis 34,8.

In den Temperatur- und Salzgehaltsschnitten ist eindeutig zu erkennen, dass Ausläufer warmen und salzreichen Wasser den Schelf hinaufgelangen und bis zum Rohr 5 heranreichen. Die Topographie ist in diesen Schnitten nur sehr grob dargestellt, da sie so nicht ganz korrekt ist. Die Wassertiefe von Rohr 5 betrug ca. 350 m, in den Schnitten von 2002 ist sie aber mit 600 m dargestellt. Die Schnitte von September 2001 stellen die Wassertiefe realitätsnaher dar.

Auf dem Schelf selbst sind keine großen Unterschiede zwischen den Jahren 2001 und 2002 zu erkennen. Die Oberfläche hatte sich im September 2002 nur stärker erwärmt. Interessant sind die Ausbreitungen der warmen- und salzreichen Schicht von rAW direkt unterhalb der Wasseroberfläche, die in allen drei Jahren eine andere Ausprägung erfährt und sich auch verschieden stark ausbreitet. Desweiteren befindet sich in der Grönlandsee zwischen 600 und 1400 m eine Schicht, die Temperaturen von  $-0,8^{\circ}\text{C}$  und Salzgehalte von 34,89 erreicht. Diese Schicht ist in allen drei Jahren ebenso unterschiedlich stark ausgeprägt, wie die an der Oberfläche.

### 5.5.2 $\theta/S$ -Diagramme

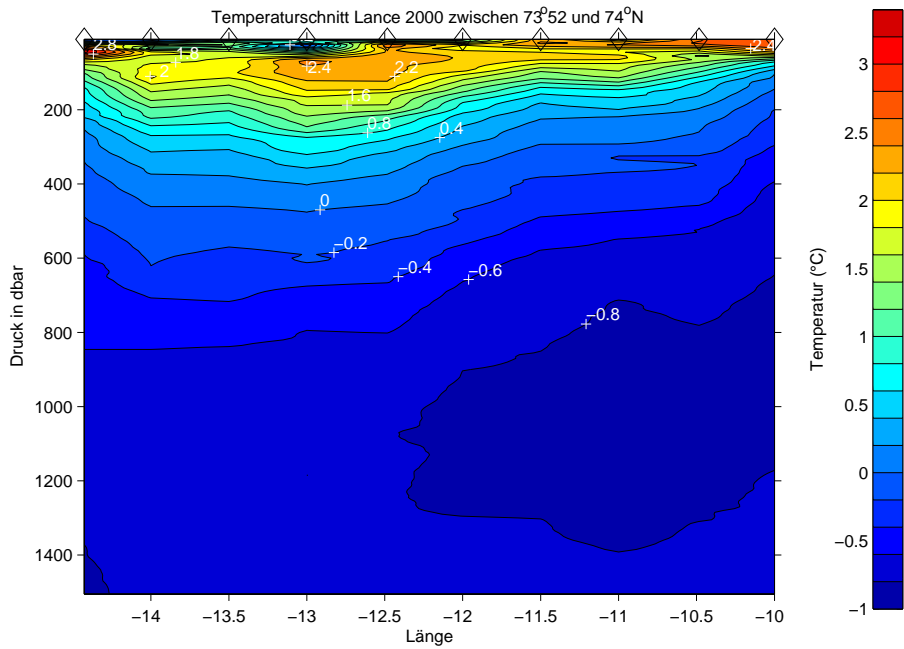
Die  $\theta/S$ -Diagramme geben einen Überblick über die Wassermassen, die sich auf dem ostgrönländischen Schelf, dem Schelfhang und in der Grönlandsee befinden. Die in Kapitel 2.3 beschriebenen Wassermassen werden in den  $\theta/S$ -Diagrammen dargestellt. Einige Wassermassen lassen sich im Diagramm sehr leicht ablesen, andere vermischen sich untereinander, da sie zum Teil räumlich sehr dicht beieinander liegen und außerdem die gleiche Dichte besitzen. Die großen Kreise sollen ungefähr die Lage der Wassermassen im  $\theta/S$ -Diagramm beschreiben, um sie besser auseinander halten zu können, aber auch um die Vermischungsprozesse zu verdeutlichen. In Abb. 5.20(A) sind weniger kleine Kreise zu sehen, als in

Abb. 5.20(B). Der Grund hierfür liegt in der Anzahl der Stationen, die auf dem Schnitt gefahren wurden, diese lag im September 2001 bei 19 Stationen und im September 2002 bei 31 Stationen. Die Stationen sind in den  $\theta/S$ -Diagrammen farbig dargestellt.

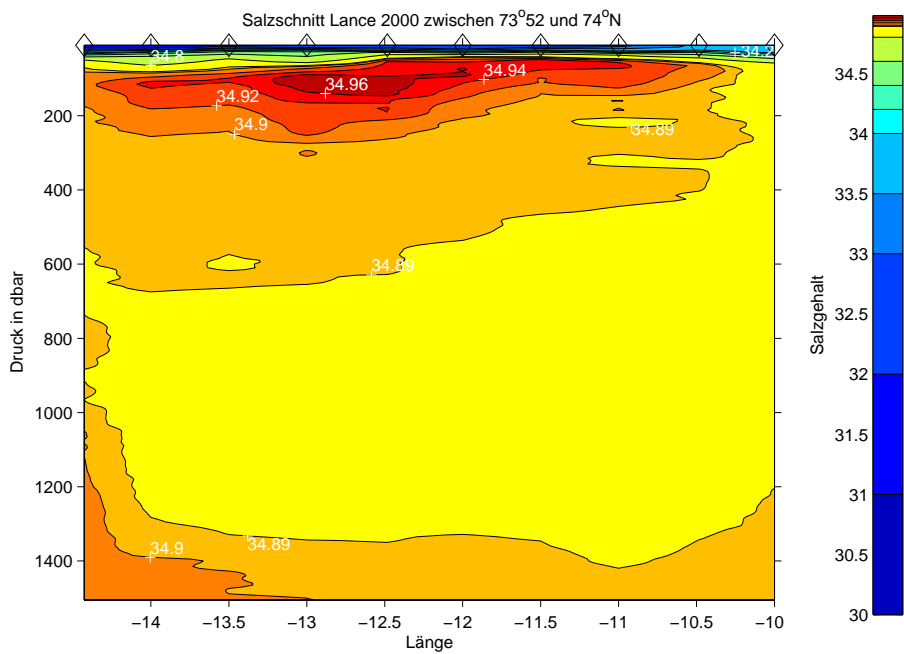
In Abb. 5.19 ist das gesamte  $\theta/S$  Profil des CTD-Schnittes im September 2002 zu sehen. Die Dichte der einzelnen Wassermassen reicht von  $22,85 < \sigma_\theta \leq 29,10$ . Die größte Reichweite in der Dichte besitzt das PW. Im Winter ist es zwischen  $26,60 < \sigma_\theta \leq 27,85$  zu finden und im Sommer, wenn die Wasseroberfläche sich erwärmt und das Eis schmilzt, liegt der Dichtebereich bei  $22,85 < \sigma_\theta \leq 26,60$ . In den CTD-Schnitten befindet sich das PW über den gesamten Schelf verteilt, von der Oberfläche bis in eine Tiefe von ca. 180 m. Unterhalb der 180 m befindet sich ein starker Temperaturgradient, der aus der Vermischung von PW mit Wasser atlantischen Einflusses herrührt. Ungeklärt bleibt, ob es sich um die Vermischung von PW mit rAW oder um eine Vermischung von PW mit AAW handelt. In den tiefen Rinnen des Schelfes (Abb. 5.17(B)) ist diese dort eingeschlossene schwerere Wassermasse deutlich zu sehen.

Die anderen Wassermassen können in den Detailansichten der Abb. 5.20(A & B) betrachtet werden. Eine Dichte von  $27,7 < \sigma_\theta \leq 27,97$  wird dem rAW und dem AAW zugeordnet. Diese beiden Wassermassen unterscheiden sich anhand der 2°C Isotherme. Die Temperatur des rAW liegt oberhalb von 2°C und die des AAW unterhalb von 2°C. Im CTD-Schnitt ist das rAW auf der Höhe der Schelfkante angesiedelt, das AAW liegt darunter, am Schelfhang. Wie in den  $\theta/S$ -Diagrammen ersichtlich, vermischen sich beide Wassermassen mit dem PW. Im  $\theta/S$ -Diagramm von 2002 sind die Vermischungsprozesse von einander getrennt. 2001 liegen die Vermischungsprozesse so dicht beieinander, dass sich das vermischte rAW mit dem vermischten AAW wiederum vermischt. Es ist sehr schwer, die einzelnen Wassermassen klar von einander zu trennen, da sie sich ständig mit den ihnen umgebenen Wassermassen vermischen. Das AIW ist im  $\theta/S$ -Diagramm in einem Dichtebereich zwischen  $27,90 < \sigma_\theta \leq 28,15$  angesiedelt. Diese Werte stimmen gut mit der in der Literatur genannten Dichte von  $\sigma_\theta = 27,97$  überein. Im Temperatur- und Salzgehaltsschnitt der Jahre 2001 und 2002 befindet sich das

AIW unterhalb der warmen und salzreicheren Schicht in der offenen Grönlandsee bis in eine Tiefe von 800 m. Die Temperaturen sind bis in 800 m Tiefe geschichtet. In der Nähe des Schelfhangs kann sich das AIW durchaus mit dem AAW vermischen. Unterhalb des AIW ist das GSDW zu finden, mit einer Dichte laut  $\theta/S$ -Diagramm von  $\sigma_\theta > 27,97$ , die mit Werten aus der Literatur schlecht zu vergleichen ist, da diese immer in  $\sigma_3$  angegeben werden.

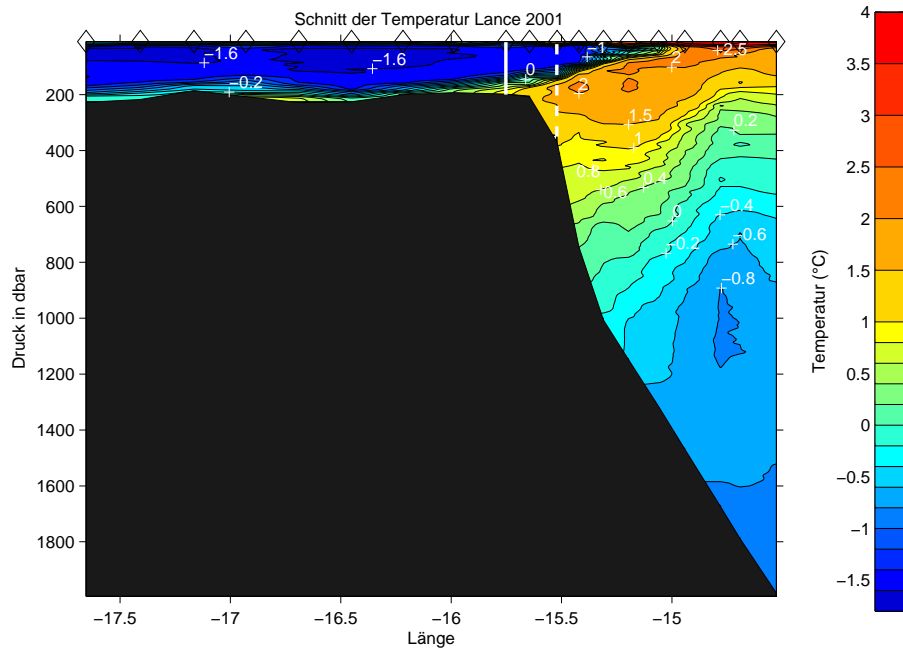


A

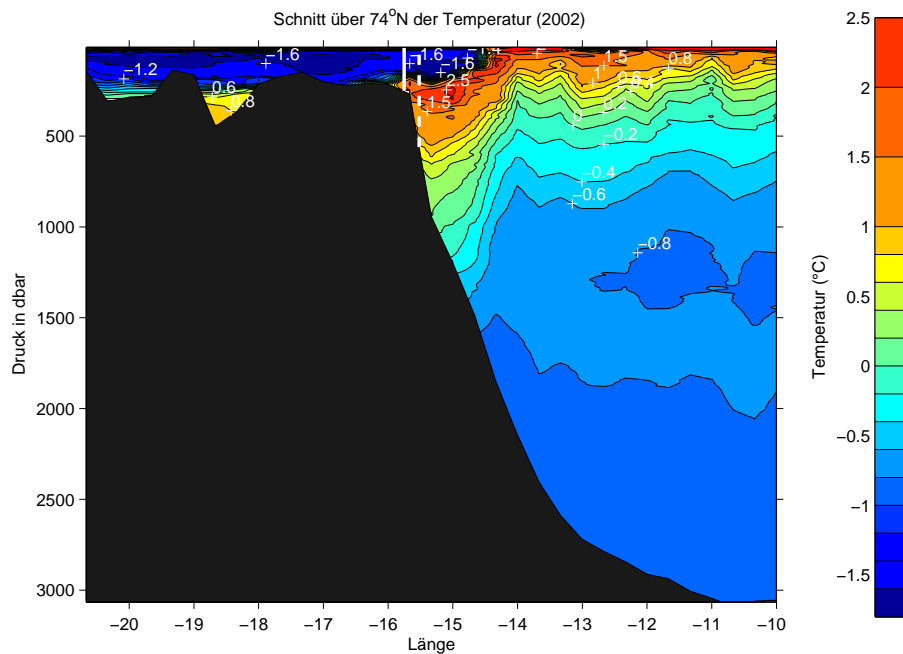


B

Abbildung 5.16: Temperatur- und Salzgehaltsschnitt im September 2000, der Schnitt lag zwischen 73°52.1'N und 74°0.0'N und 10°0.0'W und 14°26.4'W; Temperatur (A), Salzgehalt (B).



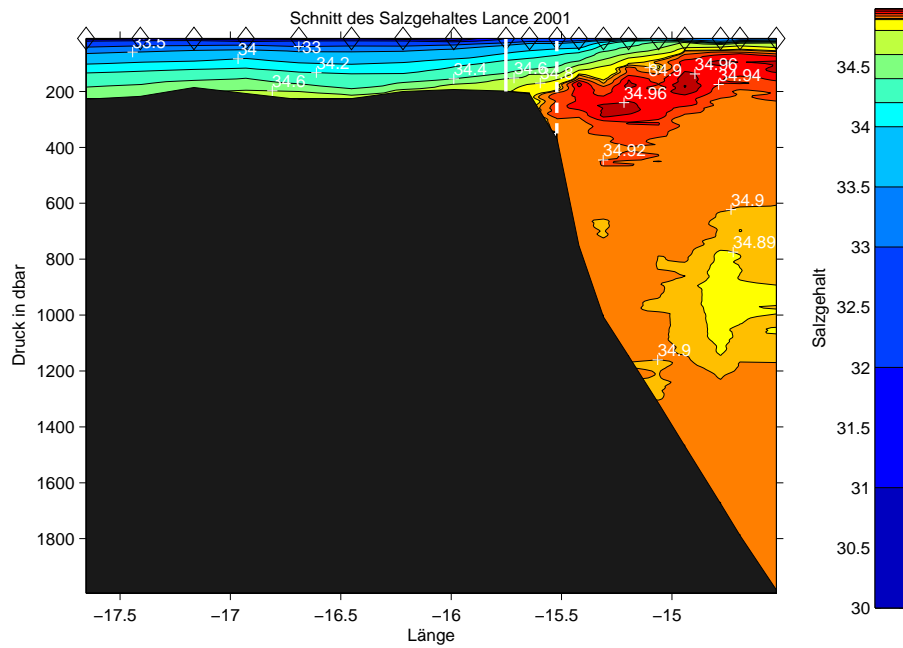
A



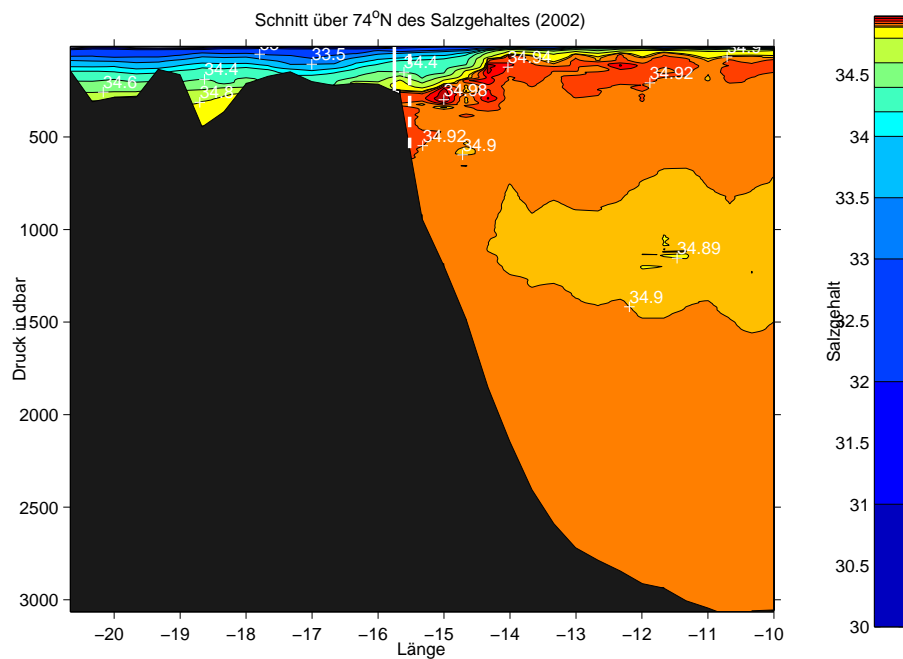
B

Abbildung 5.17: Temperaturschnitt im September 2001 (A) und im September 2002 (B). Im September 2001 lag der Schnitt zwischen  $73^{\circ}51.9'N$  und  $74^{\circ}21.6'N$  und  $14^{\circ}31.6'W$  und  $17^{\circ}39.2'W$ , im September 2002 lag der Schnitt bei  $74^{\circ}0.0'N$  verlief von  $10^{\circ}0.0'W$  und  $20^{\circ}40.0'W$ . Die durchgezogene Linie markiert die Position von Rohr 6, die gestrichelte Linie die von Rohr 5.





A



B

Abbildung 5.18: Salzgehaltsschnitt im September 2001 (A) und im September 2002 (B). Im September 2001 lag der Schnitt zwischen  $73^{\circ}51.9'N$  und  $74^{\circ}21.6'N$  und  $14^{\circ}31.6'W$  und  $17^{\circ}39.2'W$ , im September 2002 lag der Schnitt bei  $74^{\circ}0.0'N$  verlief von  $10^{\circ}0.0'W$  und  $20^{\circ}40.0'W$ . Die durchgezogene Linie markiert die Position von Rohr 6, die gestrichelte Linie die von Rohr 5.

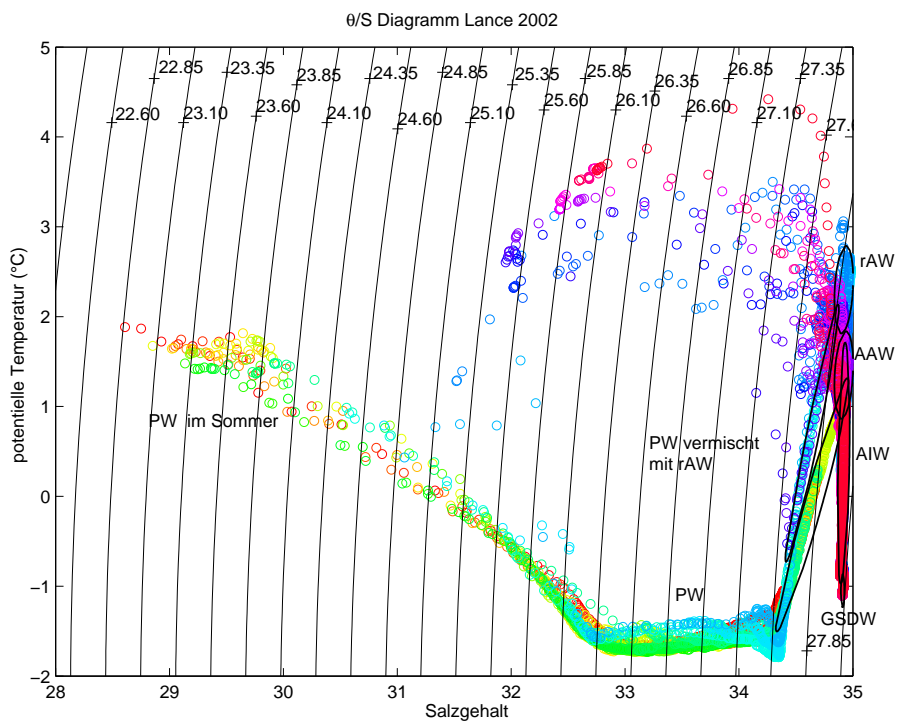
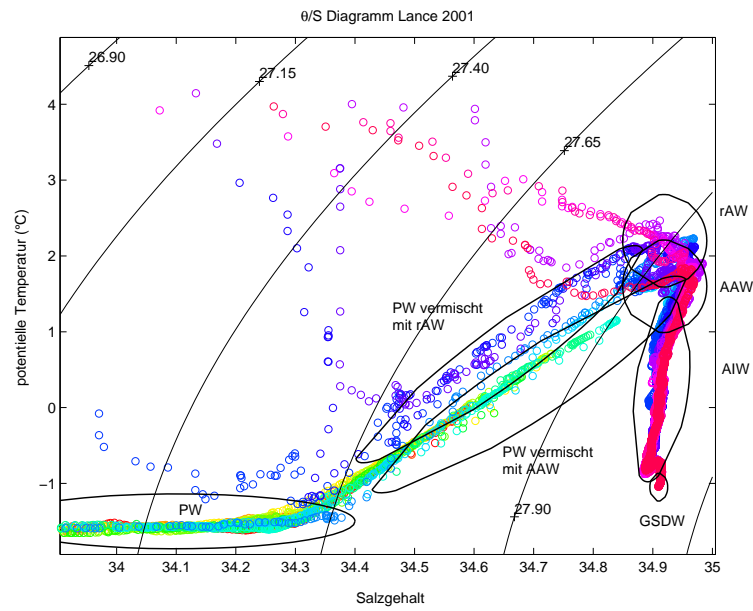
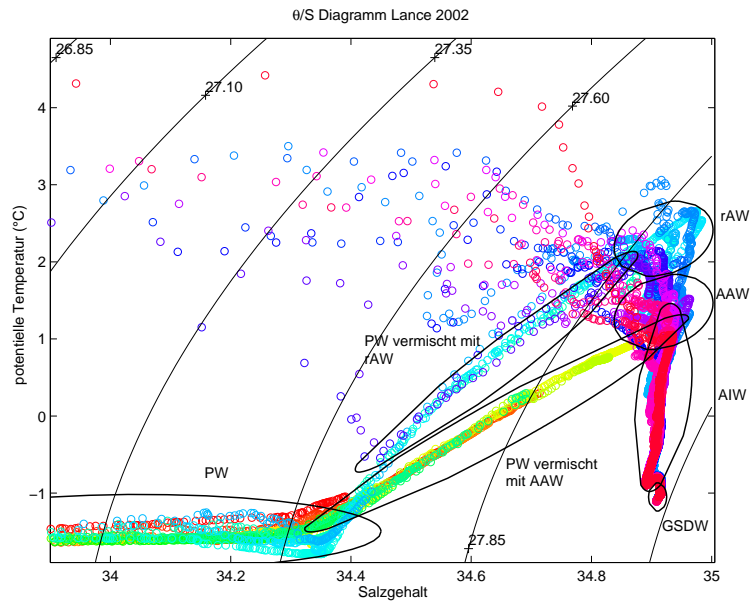


Abbildung 5.19:  $\theta/S$ -Diagramm des Schnittes über das Schelf bei  $74^{\circ} 0.0'N$ . Auf der Länge verlief er von  $10^{\circ} 0.0'W$  und  $20^{\circ} 40.0'W$ . Lance Reise September 2002. Die Farben stellen die einzelnen Stationen dar.



A



B

Abbildung 5.20: Ausschnitt aus den  $\theta/S$ -Diagrammen der CTD-Schnitte September 2001 (A) und September 2002 (B). Im September 2001 lag der Schnitt zwischen  $73^{\circ} 51.9'N$  und  $74^{\circ} 21.6'N$  und  $7^{\circ} 39.2'W$  und  $14^{\circ} 31.6'W$ , im September 2002 lag der Schnitt bei  $74^{\circ} 0.0'N$  und  $10^{\circ} 0.0'W$  und  $20^{\circ} 40.0'W$ . Die Farben stellen die einzelnen Stationen dar.



# Kapitel 6

## Schlussfolgerungen

Aus den vorhandenen Daten lassen sich folgende Ergebnisse ableiten:

- Rohrtechnik:

Die Anströmfläche der Rohre sollte so gering wie möglich gehalten werden, d.h. es sollten Rohre mit einem geringen Durchmesser und möglichst kurzen Seilen gewählt werden. Die Rohre mit einem Durchmesser von 22 cm verhielten sich stabiler in der Strömung als die mit größerem Durchmesser. Ebenso war die Seillänge von Rohr 6 vorteilhafter als die von Rohr 2 und Rohr 5. Insgesamt war Rohr 6 der ideale Rohrtyp, da es im Vergleich mit den anderen Rohren aufgrund seiner geringen Seillänge die kleinsten Auslenkungen aufwies. Bei der Erzielung brauchbarer Messergebnisse ist die gute Umströmung der Sensoren der wichtigste Faktor. Dieses kann nur mit ausreichend großen Bohrlöchern in den Rohren erzielt werden, sodass ein regelmäßiger Wasseraustausch stattfinden kann.

- Strömungsverhalten:

Zur genaueren Bestimmung des Strömungsverhaltens sollten die Rohre mit 2 Drucksensoren bestückt werden, dann kann das Strömungsverhalten besser mit den berechneten Strömungen der Verankerungsprogramme verglichen werden. Wenn dies nicht möglich ist, sollten die Drucksensoren immer im oberen Teil des Rohres angebracht werden, damit die Rohre untereinander besser vergleichbar sind. Die Berechnung des fehlenden Druckes ist zwar möglich, aber trotzdem nur eine Annäherung an das wahre Strömungsver-

halten der Verankerung. Sinnvoll wäre außerdem der Einsatz von Strömungsmessern, anhand derer man die Strömungsgeschwindigkeiten und die Transporte auf den Verankerungspositionen messen kann.

- Saisonaler Zyklus in den Zeitreihen der Rohre:

Ein saisonaler Zyklus in der Temperatur und im Salzgehalt ist bei den Rohren Nr. 2 und 6 am besten zu erkennen, da sie sich am dichtesten unter der Wasseroberfläche befanden. Bei Rohr 5, dessen Sensoren sich in wesentlich größeren Tiefen befanden, ist ein saisonaler Zyklus nur andeutungsweise zu erkennen. Dort ist der Einfluss von Wasser atlantischen Ursprungs (rAW), dessen Ausläufer zeitweilig auf den Schelf fließen, größer.

Im Winter ist die Schichtung an der Wasseroberfläche, durch die Eisbedeckung bedingt, sehr gering. Der Salzgehalt ist sehr hoch und die Temperaturen befinden sich meist in Gefrierpunktsnähe. Wenn im Sommer das Eis schmilzt, kann sich die Schichtung wieder aufbauen und es bildet sich eine relativ warme, salzarme Deckschicht. Die sommerliche Deckschicht verhält sich ähnlich wie ein Deckel, sie behindert die tiefe Vermischung. Dieses Verhalten wurde auch schon von Aagaard und Carmack (1989) beobachtet. Besonders bei Rohr 6 ist die Entstehung einer extremen sommerlichen Deckschicht zu beobachten. Diese Deckschicht wurde auch während der Auslegung von Rohr 2 beobachtet, allerdings nur im Sommer 2001. Am Anfang der Auslegung konnte sich keine starke Deckschicht bilden, da eine Eisbedeckung von über 25% die Ausbildung verhinderte.

Aufgrund starker Winde beginnt die Temperatur im Herbst zu fallen, worauf die einsetzende Konvektion die sommerlichen Deckschicht auflöst. Durch die Konvektion wird das Wasser so lange vermischt und an der Oberfläche abgekühlt, bis die Temperaturen den Gefrierpunkt erreichen und die Eisbildung beginnt. Ist die gesamte Wasseroberfläche eisbedeckt, so kann keine thermische Konvektion mehr stattfinden und die Temperaturen bewegen sich nur knapp über dem Gefrierpunkt. Im Winter schwanken die Salzgehalte an der Oberfläche um 34,0.

Die Variabilität in der Schichtung wird von der jährlichen Änderung der

Eismasse bestimmt. Der Grad der Eisbedeckung ist sehr wichtig für die Ausbreitung der Schichtung im Sommer. Wird das Eis im Sommer nicht komplett abgeschmolzen, kann sich keine sommerliche Deckschicht bilden.

- Saisonaler Zyklus verglichen mit der Literatur:

Vergleicht man die Temperatur- und Salzgehaltsmessungen der Rohre mit der Eisbedeckung, so sind gute Übereinstimmungen zu finden. Die Eisbedeckung über den Verankerungspositionen spiegelt sich in den Temperatur- besonders aber in den Salzzeitreihen wieder. Die Minima und Maxima in der Temperatur und im Salzgehalt haben auch Polyakov et al. (1999) mit ihrem simulierten saisonalen Zyklus ermittelt. Polyakov et al. (1999) haben in ihrer Arbeit zwischen einem zyklonalen- (1992) und einem anti-zyklonalen (1987) Zirkulationsregime unterschieden. Die Spitzenwerte der beiden Regime stimmen in der Temperatur, im Salzgehalt und in der Eisbedeckung überein, sie sind nur unterschiedlich stark ausgeprägt. In dieser Arbeit werden nur die Monate, in denen Spitzenwerte auftraten betrachtet. Für die Grönlandsee haben Polyakov et al. (1999) ein Maximum in der Eisbedeckung im März ermittelt, was mit den Eiskarten des Jahres 2002 aus Abb. 5.12 übereinstimmt. Das Minimum wurde im August verzeichnet, dies deckt sich mit den Eiskarten, die keinerlei Eisbedeckung auf den Verankerungspositionen für August und September vorweisen (Abb. 5.12). Die Variabilität der simulierten Temperaturen und Salzgehalte wurde für die oberen 50 m ermittelt. Hier haben Polyakov et al. (1999) ein Minimum im Salzgehalt im August/September erhalten, was sich mit den Beobachtungen von Rohr 6 deckt, dessen Minima sich im August (oberer Sensor) und September (unterer Sensor) befanden. Das Salzgehaltsmaximum beider Sensoren von Rohr 6 trat Ende April auf, das simulierte Maximum von Polyakov et al. (1999) im April/ Mai. Die simulierten Temperaturen erreichen ihr Maximum im August. Die oberflächennahen Rohre 2 und 6 hatten ihre maximalen Temperaturen in 2002 auch im August (Rohr 2) und September (Rohr 6) zu verzeichnen, obwohl es sich bei Rohr 2 nicht um das absolute Maximum während der gesamten Auslegung handelt. Die Temperaturen des

oberen Sensors schwanken den gesamten Winter über um den Gefrierpunkt, ebenso zeigt die Simulation zwischen März und April Temperaturen um den Gefrierpunkt. Insgesamt sind die Übereinstimmungen sehr gut, obwohl es sich beim simulierten saisonalen Zyklus um eine Modellrechnung für die gesamte Grönlandsee handelt, die Verankerungen aber bei 74°N platziert waren, was einen Bruchteil des Gebietes ausmacht.

- Vergleich der CTD-Messungen untereinander:

Die CTD-Messungen von jeweils September 2000, 2001 und 2002 zeigen ihre stärksten Änderungen in der Ausbreitung des rAW und AAW in der Grönlandsee. Diese relativ warmen und salzreichen Wassermassen breiten sich direkt unterhalb der Oberfläche aus und reichen von der offenen Grönlandsee bis zur Schelfkante. Diese Ausbreitung war in allen drei Jahren verschieden stark ausgeprägt. Die Schichtung der Temperatur am Schelfhang variierte in der Tiefe, wenn man den September 2001 mit September 2002 vergleicht.



# Abkürzungsverzeichnis

AAW ..	Arktisch-Atlantisches Wasser
AABW.	Antarctic Bottom Water (Antarktisches Bodenwasser)
ADCP .	Acoustic Doppler Current Profiler
AIW ..	Arctic Intermediate Water (Arktisches Zwischenwasser)
ASW ..	Arctic Surface Water (Arktisches Oberflächenwasser)
AW ....	Atlantisches Wasser
AWI ...	Alfred-Wegener-Institut für Polar- und Meeresforschung, Bremerhaven
CTD ...	Conductivity Temperature Depth (Sonde zum Messen der Leitfähigkeit, der Temperatur und des Drucks)
dbar ...	dezibar (Einheit zur Druckmessung, stimmt ungefähr mit der Tiefe in Metern überein)
DMSP .	Defense Meteorological Satellite Program
DW ....	Deep Water (Tiefenwasser)
DSOW .	Denmark Strait Overflow Water (Dänemarkstrassen Overflow-Wasser)
DWBC .	Deep Western Boundary Current (Tiefer Westlicher Randstrom)
EGC ...	East Greenland Current (Ostgrönlandstrom)
EGPF ..	East Greenland Polar Front (Polarfront vor Ostgrönland)
GIN-Sea	Grönland-, Island-, Norwegen-See
GSDW .	Greenland Sea Deep Water (Grönlandsee Tiefenwasser)
IPTS-68	The International Practical Temperature Scale of 1968
MDD ..	Mooring Design and Dynamics
NAC ...	North Atlantic Current (Nordatlantikstrom)
NADW .	North Atlantic Deep Water (Nordatlantisches Tiefenwasser)
NSDW .	Norwegian Sea Deep Water (Norwegisches Tiefenwasser)
NSIDC .	National Snow and Ice Data Center

PW ..	Polares Wasser
rAW..	return Atlantic Water (rezirkulierendes Atlantisches Wasser)
SFB..	Sonderforschungsbereich
SSM/I	Special Sensor Microwave Imager
SST ..	Sea Surface Temperature (Oberflächentemperatur)
Sv ....	Sverdrup ( $1 \text{ Sv} = 10^6 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ )
THC .	Thermohaline Circulation (thermohaline Zirkulation)
$\theta/S \dots$	Potentielle Temperatur und Salzgehalt
ULS..	Upward Looking Sonar
uPDW	upper Polar Deep Water (oberes Polares Tiefenwasser)
WSC .	West Spitzbergen Current (Westspitzbergenstrom)

# Literaturverzeichnis

Aagaard, K. . Wind-driven Transports in the Greenland and Norwegian Sea. *Deep-Sea Research*, 17:281–291, 1970.

Aagaard, K. und Carmack, E.C. . The role of sea ice and other freshwater in the Arctic Circulation. *Journal of Geophysical Research*, 94(C10):14,485–14,498, 1989.

Aagaard, K. und Coachman, L.K. . The East Greenland Current North of Denmark Strait. *Arctic*, 21(I and II):181–200 and 267–290, 1968.

Belkin, I. M. , Levitus, S. , Antonov, J. und Malmberg, S.-V. . Great Salinity Anomalies in the Atlantic. *Progress in Oceanography*, 41:1–68, 1998.

Bourke, R.H. , Newton, J.L. , Paquette, R.G. und Tunnicliffe, M.D. . Circulation and Water Masses of the East Greenland Shelf. *Journal of Geophysical Research*, 92(C7):6729–6740, 1987.

Bourke, R.H. , Weigel, A.M. und Paquette, R.G. . The westward turning branch of the West Spitzbergen Current. *Journal of Geophysical Research*, 93:14,065–14,77, 1988.

Broecker, W.S. . The great Ocean Conveyor. *Oceanography*, 4:79–89, 1991.

Cavalieri, D. , Gloerson, P. und Zwally, J. . DMSP SSM/I daily polar gridded sea ice concentrations. Digital media, 1990, updated 2003. Boulder, CO: National Snow and Ice Data Center.

Chaplygin, E.I. . Vodi vostochno-grenlandskogo techeniya. *Problemy Arktiki, Sbornik Statei*, 6:37–41, 1959.

Dewey, R.K. . Mooring Design & Dynamics, a Matlab Package for Designing and Analyzing Oceanographic Moorings and Towed Bodies. Internet, <http://canuck.seos.uvic.ca/rkd/mooring/moordyn.html>, 2002. aktuelle Version 2.1, April 2002.

Dickson, B. und Meincke, J. . Arctic-Subarctic Ocean Flux Array: West (ASOF), draft implementation plan. Internet, [http://asof.npolar.no/library/pdf/ASOF-EC\(W\).pdf](http://asof.npolar.no/library/pdf/ASOF-EC(W).pdf), 2001.

Fahrback, E. , Heinze, C. , Rohardt, G. und Woodgate, R.A. . Moored current meter measurements in the East Greenland Current. In Meincke, J. , editor, *Nordic Seas Symposium on the Results of the Greenland Sea Project (GSP) 1987-1993, Extended Abstracts*, pages 57–60, 1995.

Fogelqvist, E. , Blindheim, J. , Tanhua, T. , Østerhus, S. , Buch, E. und Rey, F. . Greenland-Scotland overflow studied by hydro-chemical multivariate analysis. *Deep-Sea Research I*, 50:73–102, 2003.

Foldvik, A. , Aagaard, K. und Torresen, T. . On the velocity field of the East Greenland Current. *Deep-Sea Research*, 35:1,335–54, 1988.

Grotefendt, K. . Untersuchungen zur Variabilität der Frischwasserschicht in der Grönlandsee. Master's thesis, Ozeanographie, Fachbereich Geowissenschaften der Universität Hamburg, März 1998.

Gudkovich, und Pozdnishev, . *Seasonal and spatial variations of ice drift and gradient current velocities for the East Greenland ice flow*. Arctic and Antarctic Research Institute Leningrad.

Harder, M. , Lemke, P. und Hilmer, M. . Simulation of sea ice transport through Fram Strait: natural variability and sensitivity to forcing. *Journal of Geophysical Research*, 103(C3):5595–5606, 1998.

Holfort, J. . Cruise report R/V Lance. Internet, <http://www.ifm.uni-hamburg.de/~wwwro/cruises/Lance2000/cruisesummary.html>, September 2000.

Holfort, J. . Cruise report FS Lance September 16 to October 11, 2002. Internet, <http://www.ifm.uni-hamburg.de/~wwwro/cruises/Lance02/CruiseReport.html>, September 2002.

Institut für Meereskunde Hamburg, . SFB 512, Allgemeine Angaben zum Teilprojekt C4. Internet, [http://www.ifm.uni-hamburg.de/~wwwro/SFB512/TP\\_C4.html](http://www.ifm.uni-hamburg.de/~wwwro/SFB512/TP_C4.html). last modified Thu Jun 12 11:28:27 CEST 2003.

Johannessen, O.M. . *Brief Overview of the physical Oceanography*, chapter 4, pages 103–127. The Nordic Seas, Springer Verlag, edited by B.G.Hurdle, 1986.

Laktionov, A.F. , Shamontev, V.A. und Yanes, A.V. . Okeanograficheskii ocherk severnoi chasti Grenlandskogo morya. *Sovetskie rybokhozyaistvennyye issledovaniya v moryakh Evropeiskogo severa*, pages 51–65, 1960. Moscow:Vniro,Pinro.

Logemann, K. . Report of Cruise #21-2001 of R/V Lance. Internet, <http://www.ifm.uni-hamburg.de/~wwwro/cruises/Lance01/fahrtb/>, November 2001.

Marti, O. und Plettl, A. . Vorlesungsskript Physikalische Elektronik und Messtechnik. Internet, [http://wwwex.physik.uni-ulm.de/lehre/PhysikalischeElektronik/Phys\\_Elektr/node331.html](http://wwwex.physik.uni-ulm.de/lehre/PhysikalischeElektronik/Phys_Elektr/node331.html), 2003.

Martin, T. und Wadhams, P. . Sea-ice flux in the East Greenland Current. *Deep-Sea Research II*, 46:1063–1082, 1999.

Mauritzen, C. . Production of dense overflow waters feeding the North Atlantic across the Greenland-Scotland Ridge. Part 1: Evidence for a revised circulation scheme. *Deep-Sea Research I*, 43:769–806, 1996.

Mauritzen, C. und Häkkinen, S. . Influence of sea ice on the thermohaline circulation in the Arctic-North Atlantic ocean. *Geophysical Research Letters*, 24:3257–3260, 1997.

McCartney, M.S. und Talley, L.D. . Warm-to-cold water conversions in the northern North Atlantic Ocean. *Journal of Physical Oceanography*, 14:922–935, 1984.

Morgan, Ph. . SEAWATER: A library of MATLAB computational routines for the properties of seawater. Internet, <http://www.marine.csiro.au/~morgan/seawater/index.html>, 1994, letztes Update Mai 1999.

Oliver, K.I.C. und Heywood, K.J. . Heat and Freshwater Fluxes through the Nordic Seas. *Journal of Physical Oceanography*, 33:1009–1026, 2003.

Perry, R.K. und Fleming, H.S. . Bathymetry of the Arctic Ocean. Geological Society of America Map and Chart Series MC-56, 1986. 1 sheet, size 1:4704075.

Polyakov, I.V. , A.Y.Proshutinsky, und Johnson, M.A. . Seasonal cycles in two regimes of Arctic climate. *Journal of Geophysical Research*, 104(C11):25,761–25,788, 1999.

Pond, St. und Pickard, G.L. . *Introductory Dynamical Oceanography*. Pergamon Press, second edition, 1983.

Quadfasel, D. und Meincke, J. . Note on the thermal structure of the Greenland Sea gyres. *Deep-Sea Research*, 34:1883–1888, 1987.

Rausch, M. und Exler, R. . Praktikum Elektrische Meßtechnik, WS 1998/99. Internet, [http://www.emt.uni-linz.ac.at/roland/messtech\\_pr/node66.html](http://www.emt.uni-linz.ac.at/roland/messtech_pr/node66.html), 1998.

Rhines, P. . Edge-, bottom-, and Rossby waves in a rotating stratified fluid. *Geophysical Fluid Dynamics*, 1:273–302, 1970.

Rudels, B. . The thermohaline Circulation of the Arctic Ocean and the Greenland Sea. *Phil. Trans. R. Soc. Lond.*, A(1995)352:287–299, 1995.

Rudels, B. , Fahrbach, E. , Meincke, J. , Budéus, G. und Eriksson, P. . The East Greenland Current and its contribution to the Denmark Strait overflow. *Journal of Marine Science*, 59:1133–1154, 2002.

Rudels, B. , Friedrich, H.J. und Quadfasel, D. . The Arctic Circumpolar Boundary Current. *Deep-Sea Research II*, 46:1023–1062, 1999.

Schlichtholz, P. und Houssais, M.-N. . An overview of the theta-S correlations in Fram Strait based on the MIZEX 84 data. *Oceanologia*, 44(2):243–272, 2002.

Sverdrup, H.U. , Johnson, M.W. und Fleming, R.H. . *The Oceans: Their Physics, Chemistry and General Biology*. Prentice-Hall Inc., 1942.

Swift, J. H. und Aagaard, K. . Seasonal transitions and water mass formation in the Iceland and Greenland seas. *Deep-Sea Research*, 28A:1107–1129, 1981.

Swift, J.H. . *The Arctic Waters*, chapter 5, pages 129–153. The Nordic Seas, Springer Verlag, edited by B.G. Hurdle, 1986.

math. *MATLAB Hilfe*. The MathWorks, Inc., June 2002. Version 6.5, Release 13.

Topp, R. und Johnson, M. . Winter intensification and water mass evolution from yearlong current meters in the Northeast Water Polynya. *Journal of Marine Systems*, 10:157–173, 1997.

Vinje, T. , Nordlund, N. und Kvambekk, Å. . Monitoring ice thickness in Fram Strait. *Journal of Geophysical Research*, 103(C5):10,437–10,449, 1998.

Visbek, M. , Fischer, J. und Schott, F. . Preconditioning the Greenland Sea for deep convection: Ice formation and ice drift. *Journal of Geophysical Research*, 100(C9):18,489–502, 1995.

Wadhams, P. . Sea ice thickness distribution in the Greenland Sea and Eurasian Basin. *Journal of Geophysical Research*, 97(C4):5331–5348, 1992.

Wadhams, P. , Gill, E.A. und Linden, P.F. . Transects by submarine of the East Greenland Polar Front. *Deep-Sea Research*, 26(A):1311–1327, 1979.

Woodgate, R.A. , Fahrbach, E. und Rohardt, G. . Structure and transports of the East Greenland Current at 75°N from moored current meters. *Journal of Geophysical Research*, 104(C8):059–072, 1999.

Worthington, L.V. . The Norwegian Sea as a mediterranean basin. *Deep-Sea Research*, 17:77–84, 1970.

---

LITERATURVERZEICHNIS

---



# Danksagungen

Zum Schluss möchte ich allen danken, die mir bei der Entstehung dieser Arbeit geholfen haben.

Dr. Jürgen Holfort möchte ich für die Bereitstellung des Themas, der Daten und die herzliche Betreuung während der Diplomarbeit danken.

Ich danke Herrn Prof. Dr. J. Meincke für die Betreuung und Begutachtung der Diplomarbeit.

Für die zahlreichen Diskussionen und Anregungen danke ich Dr. John Mortensen und den anderen Mitarbeitern im vierten Stock.

In technischen Angelegenheiten hatten Andreas und Uli immer ein offenes Ohr und haben alle Fragen geduldig beantwortet.

Mit Andrea und Berit habe ich viele produktive Stunden unter den Palmen verbracht, hat Spaß gemacht. Natürlich auch ein Dank an Sönke, der einen hin und wieder mit Lakritz versorgt hat. Einen Gruß auch an die Komilitonen, die mich durch das Studium begleitet haben.

Vielen Dank an Stephen, der mir mit den ADCP Daten geholfen hat.

Inger, Sunke, Kai und Detlef haben mir sehr beim Korrekturlesen und mit vielen Anregungen geholfen. Ein extra Dankeschön geht noch an Kai für die unermüthliche Hilfe bei der Suche nach den Protokollen.

Bernd danke ich für die Unterstützung mit Latex und seiner Geduld.

Zum Schluss möchte ich noch meiner Familie für ihre Unterstützung und ganz besonders meiner Mutter fürs Korrekturlesen herzlich danken.

## Eidesstattliche Erklärung

Für die Datenauswertung stand mir MATLAB zur Verfügung. Die Textverarbeitung wurde mit L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X<sub>2 $\epsilon$</sub>  erstellt. Die Berechnungen zur Anströmung des Rohres wurden mit dem MATLAB basierten Programm Mooring Design & Dynamics erstellt.

Ich, Gunda Wieczorek, erkläre hiermit an Eides Statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt habe; die aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind als solche kenntlich gemacht.

Ich erkläre mich bereit, dass diese Arbeit der Bibliothek zur Verfügung gestellt wird.

Hamburg, den 03.11.2003