

Berichte aus dem  
Institut für Meereskunde  
an der Christian-Albrechts-Universität Kiel  
Nr. 69

Bodenströmungen und Schichtungsverhältnisse  
in der nördlichen Kieler Bucht  
im März 1978<sup>+)</sup>

Near Bottom Currents and Stratification  
in North Kiel Bight  
during March 1978

von

W. Zenk , U. Schauer ,  
U. Petersohn<sup>⊙</sup> und R.U. Mittelstaedt<sup>⊙</sup>

DOI 10.3289/IFM\_BER\_69

September 1979

Institut für Meereskunde, Düsternbrooker Weg 20, 2300 Kiel 1

<sup>⊙</sup> Institut für Angewandte Physik, Olshausenstraße 40-60,  
2300 Kiel 1

<sup>+)</sup>  Beitrag Nr. 227 aus dem Sonderforschungsbereich 95, "Wechsel-  
wirkung Meer-Meeressboden, der Universität Kiel

ISSN 0341 - 8561

Bodenströmungen und Schichtungsverhältnisse  
in der nördlichen Kieler Bucht  
im März 1978

von

W. Zenk, U. Schauer,  
U. Petersohn und R.U. Mittelstaedt

Inhaltsverzeichnis

Verkürztes Verzeichnis der Tabellen

Verkürztes Verzeichnis der Abbildungen

Kurzform

Abstract

1. Einleitung

2. Datenmaterial

2.1. Verankerungen

2.2. CTD-Messungen

2.3. DOPY

2.4. Triftstrommessungen

3. Ergebnisse

4. Diskussion

4.1. Allgemeine Schichtungsverhältnisse

4.2. Kurzfristige Veränderlichkeit hydro-  
graphischer Schichtung

4.3. Charakteristische Aus/Einstromlagen

4.4. Merkmale bodennaher Strömungen

5. Zusammenfassung und Ausblick

Danksagung

Literaturverzeichnis

Bildanhang

Verzeichnis der Tabellen in Kurzform

Short List of tables

Tabelle Nr.

Table No.

- 1            Verzeichnis der hydrographischen Schnitte  
*Short list of hydrographic sections*
  
- 2            Statistische Parameter der Zeitserien von den  
Verankerungen 2311, 2225 und 2331  
*Statistical parameters of time series of moorings  
2311, 2225, and 2331*
  
- 3            Horizontale kinetische Energie, gemessen an den  
Verankerungsstationen 2311, 2225 und 2331  
*Horizontal kinetic energy as measured by mooring  
stations 2311, 2225, and 2331*

Verzeichnis der Abbildungen in Kurzform

Short directory of figure captures

- | Abb. Nr. |   |
|----------|---|
| Fig. No. |   |
| 1        | Prinzipiskizze der Verzweigung der Bodenströmung aus dem Großen Belt in die Vejsnäsrinne und ins Vindsgrav<br><i>Draft of the splitting of the bottom currents into the "Vejsnäs-Rinne" and the "Vindsgrav"</i> |
| 2        | Lagekarte der Schnitte und Verankerungen (Reise 27)<br><i>Chart of sections and mooring positions (Cruise 27)</i>   |
| 3        | Lagekarte der Schnitte (Reise 29)<br><i>Chart of sections (Cruise 29)</i>   |
| 4        | Zeitserien der Verankerung "Großer Belt" (2311)<br><i>Time series of mooring "Great Belt" (2311)</i>  |
| 5        | Zeitserien der Verankerung "Langzeit" (2225)<br><i>Time series of mooring "Long Term" (2225)</i>  |
| 6        | Zeitserien der Verankerung "Südhang" (2331)<br><i>Time series of mooring "South Rise" (2331)</i>  |
| 7        | Gezeitenstromellipse zu Abb. 4<br><i>Tidal current ellipse according to fig. 4</i>  |
| 8        | Spektrum der horizontalen kinetischen Energiedichte zu Abb. 4<br><i>Kinetic energy spectra according to fig. 4</i>  |
| 9        | Typische Profile von Temperatur und Salzgehalt<br><i>Typical temperature and salinity profiles</i>  |
| 10       | Temperatur- und Salzgehaltsdiagramm<br><i>T/S diagram</i>   |

- 11-28      Verschiedene Quer- und Längsschnitte des Salzgehaltes und der Temperatur. Lage der Schnitte vgl. Abb. 2 und 3.  
*Various cross and parallel stream sections of salinity and temperature. For position of sections see fig. 2 and 3.*
- 29            Gefilterte Zeitserien der Station "Südhang" (2331)  
*Filtered time series of station "South Rise" (2331)*
- 30            Gefilterte Zeitserien der Station "Langzeit" (2225)  
*Filtered time series of station "Long Term" (2225)*
- 31            Gefilterte Zeitserien der Station "Großer Belt" (2311)  
*Filtered time series of station "Great Belt" (2311)*
- 32            Punktdiagramm der Geschwindigkeitsbeträge bei Station "Langzeit" (2225)  
*Scatter diagram of speeds at station "Long Term" (2225)*
- 33            Strömungs-, Schichtungs- und Ri-Profile auf Dauerstation Nr. 130  
*Current-, stratification- and Ri-Profiles at anchor station nor. 130*
- 34            Windrichtung und -geschwindigkeit  
*Wind direction and speed*
- 35            Isoplethen des Salzgehalts und der Attenuation vom 2.3. 22.00 bis 3.3. 10.00 und vom 4.3. 18.00 bis 5.3. 9.30  
*Isopleths of salinity and attenuation between 2 March 22.00 and 3 March 10.00, and between 4 March 18.00 and 5 March 09.30.*

- 36 a) Temperaturprofile aus DOPY-Messungen vom  
3.3.78 1.20 bis 3.40 (Dauerstation 5)  
*Temperature profiles according to DOPY-measurements  
between 3 March 01.20 and 03.40 (anchor station 5)*
- b) Isoplethen der Temperatur vom 3.3.78 (Dauerstation 5)  
*Isopleths of temperature from 3 March 78  
(anchor station 5)*
- 37 Typisches  $\sigma_t$ -Profil der Dauerstation 5  
*Typical  $\sigma_t$ -profil from anchor station 5*
- 38 Typisches gemessenes Temperaturprofil der Dauer-  
station 5 im Vergleich zu einem durch eine  
analytische Funktion angeglichenes Profil  
*Comparison of measured temperatur profil from  
station 5 and an adjusted profil calculated by an  
analytical function*
- 39 Berechnete durch interne Wellen modifizierte  
Temperaturprofile (vgl. Abb. 36 und 38)  
*Calculated temperature profils modified by  
internal waves (cf. fig. 36 and 38)*

### Kurzform

Es werden hydrographische Schichtungsdaten mit gleichzeitigen bodennahen Strommessungen aus der nördlichen Kieler Bucht vorgestellt. Das Beobachtungsmaterial wurde während zweier Meßfahrten zu Beginn und Ende des März 1978 mit Hilfe von 3 verankerten Strommesserketten, der Kieler Multisonde (mit Sensoren für Druck, Temperatur, elektrischer Leitfähigkeit und Attenuation) sowie mit der driftenden Datenboje DOPY gewonnen. Die Ergebnisse werden in Form von Zeitreihen, Temperatur- und Salzgehaltsschnitten und in Isoplethendiagrammen dargestellt. In einem Temperatur-Salzgehaltsdiagramm läßt sich zeigen, daß vor dem Einsetzen der Frühjahrserwärmung die Wassermassen als Vermischungsprodukt zwischen Kattegatwasser ( $27 \text{ }^{\circ}/\text{oo}$ ,  $4^{\circ}\text{C}$ ) am Boden und Wasser aus der inneren Ostsee ( $14 \text{ }^{\circ}/\text{oo}$ ,  $1^{\circ}\text{C}$ ) an der Oberfläche angesehen werden können.

Außer dem Jahresgang, der in der zweiten Beobachtungsphase zur Formation einer dritten oberflächennahen Schicht führte, konnten zeitliche Veränderungen in der Hydrographie auf unperiodisch wechselnde Ein/Ausstromlagen und auf hochfrequente interne Wellen zurückgeführt werden. In einem einfachen Modell werden die internen Schwingungen simuliert und mit den Beobachtungen von DOPY verglichen. Die Strömungsmessungen haben in verschiedenen Tiefenbereichen der Vejsnäsrinne gezeigt, daß die Strömungen unterhalb der halinen Sprungschicht unabhängig von lokalen Einflüssen weitgehend vom Einstrom des salzreichen Wassers aus dem Kattegat "ferngesteuert" werden.

Abstract

We display hydrographic stratification data with simultaneous current measurements from the northern Kiel Bight, Baltic Sea. The observational material has been gathered during two cruises at the beginning and at the end of March, 1978, by means of three moored current meter arrays, the Kiel CTD-Multisonde (equipped with sensor for pressure, electrical conductivity, temperature and attenuation) as well as with the drifting data buoy DOPY. Results are displayed in form of time series, temperature and salinity sections, and by isopleth diagrams. In a T/S diagram we show, that before the spring heating starts the water masses may be characterised as a mixing product of Kattegat water (27 ‰, 4°C) next to the bottom and water from the inner Baltic Sea near the surface (14 ‰, 1°C). Besides the seasonal heating that led to the formation of a third near surface water mass during the second observation phase, we have observed episodic inflow/outflow situations and high frequency internal waves. In a simple model we simulate the internal oscillations and compare them with measurements from the DOPY buoy. Our current observations at different levels of the Vejsnäs-channel have shown that the currents beneath the halocline are controlled by the inflow of salty water from the Kattegat rather than by local forcing.



## 1 Einleitung

Im Rahmen des Kieler Sonderforschungsbereiches (SFB) 95 "Wechselwirkung Meer-Meeresboden" werden von der Gruppe Meeresphysik die Struktur und Verteilung der bodennahen Strömung in der Kieler Bucht untersucht.

Das Stromsystem der Kieler Bucht wird durch atmosphärische Vorgänge gesteuert (DIETRICH, 1951; KÄNDLER, 1951), wobei die regionale Ausbreitung der unterschiedlichen Wassermassen aus Kattegat und Ostsee durch die Topographie und die Dichteschichtung bestimmt wird (KRUG, 1963). DIETRICH (1951) erarbeitete ausführlich die Abhängigkeit der Oberflächenströmung von verschiedenen Wetterlagen, wobei eine Einstromsituation im Großen Belt bei Westwind und eine Ausstromsituation bei Ostwind charakteristisch sind.

Das salzreiche Kattegatwasser, das am Boden in die Ostsee einströmt, verzweigt sich am Südausgang des Großen Belts in zwei Richtungen, die durch die Vejsnäsrinne nach Westen in die Kieler Bucht und den Vindsgrav nach Osten in die mittlere Ostsee vorgegeben sind (Abb. 1). In der Vejsnäsrinne haben Beobachtungen, die mit verankerten Strom- und Temperaturmeßgeräten über zweieinhalb Jahre durchgeführt wurden (HATJE, 1976, 1977; WITTSTOCK et al., 1978), Aufschluß über die Häufigkeit starker Bodenströmungen und ihren Zusammenhang mit der Großwetterlage ergeben.

Für die Bewertung, wie groß der Einfluß von Ein- und Ausstrom durch den Großen Belt auf die Bodenströmungen innerhalb der Kieler Bucht ist, muß man die Verteilung dieser Strömungen in den Rinnen und Flachgebieten kennen.

Dazu wurden im März 1978 Strömungsmessungen im Großen Belt sowie in der Sohle und an der Oberkante des Hanges der Vejsnäsrinne durchgeführt, die die bodennahe Strömung oberhalb der logarithmischen Grenzschicht erfassen.

Gleichzeitig wurden die Schichtungsverhältnisse in den Eingängen der Kieler Bucht (Großer Belt und Fehmarnbelt) und im Gebiet der Vejsnäsrinne durch Salzgehalts- und Temperaturmessungen auf hydrographischen Schnitten im Gebiet der Bodenstromverzweigung aufgenommen.

Eine neuentwickelte selbstregistrierende "Profilmessanlage" zur langfristigen Messung von Strömungs- und Schichtungsstruktur der logarithmischen Grenzschicht wurde bei dieser Ausfahrt technisch erprobt.

## 2 Datenmaterial

### 2.1 Verankerungen

In Abb. 2 sind die Verankerungsorte und die Lage von zahlreichen, zum Teil mehrmals abgefahrenen hydrographischen Schnitten dargestellt. Die drei Strommesserketten, die mit je zwei Strömungsmessern bestückt waren, lagen in der Zeit vom 2.3. bis zum 10.3. 1978 auf den eingezeichneten Positionen. Die verwendeten Meßgeräte vom Typ Aanderaa RCM 4 waren mit Fühlern für die Aufnahme von Strömungsrichtung und -geschwindigkeit, Temperatur und elektrischer Leitfähigkeit ausgerüstet. Die Abfragerate betrug 5 Minuten.

Die Strommesser-Positionen wurden nach folgenden Gesichtspunkten gewählt:

- IfM-Nr. 2225 "Langzeit",  $\varphi = 54^{\circ}40,6' \text{ N}$ ,  $\lambda = 10^{\circ}35,9' \text{ E}$ , 30 m Wassertiefe, 22 m und 25 m Gerätetiefe. Dies war die Position der oben erwähnten Dauerstrommessungen des SFB 95 in der Vejsnäsrinne.
- IfM-Nr. 2311 "Großer Belt",  $\varphi = 54^{\circ}40,5' \text{ N}$ ,  $\lambda = 10^{\circ}44,5' \text{ E}$ , 24 m Wassertiefe, 20 m und 22 m Gerätetiefe, am südlichen Ausgang des Großen Belt; hier sollte der durch den Großen Belt in die Kieler Bucht einfließende Bodenstrom beobachtet werden.
- IfM-Nr. 2331 "Südhang",  $\varphi = 54^{\circ}38,9' \text{ N}$ ,  $\lambda = 10^{\circ}34,1' \text{ E}$ , 20 m Wassertiefe, 16 m und 18 m Gerätetiefe, anderthalb Seemeilen südwestlich von Nr. 2225 am südlichen Hang der Vejsnäsrinne; dort waren von WERNER (im Jahresbericht 1977 des SFB 95 S. 4-14) auf dem Sandboden veränderliche Strukturen, sogenannte Kometenmarken, beobachtet worden, die auf zumindest zeitweises Auftreten von starker Strömung schließen lassen.

Alle Verankerungen waren nach Art der Flachwasser-U-Verankerung ausgebildet. Die Methode hat den Vorteil, daß die Meßgeräte der direkten Beeinflussung durch Oberflächenwellen weitgehend entzogen sind und die Oberflächenmarkierungsboje außerhalb der Schiffsfahrtswege verankert werden kann.

Die Bearbeitung der registrierten Daten erfolgte nach Standardmethoden im Rechenzentrum des IfM (vgl. KÄSE et al., 1978). Die Temperatur der verwendeten Meßgeräte ist nach Herstellerangaben mit einem Fehler von  $\pm 0,15^{\circ}\text{C}$  behaftet. Der absolute Fehler des aus den Parametern Temperatur (absoluter Fehler:  $\pm 0.1\text{K}$ ) und elektrischer Leitfähigkeit (absoluter Fehler:  $\pm 0.3 \text{ ms/cm}$ ) berechneten Salzgehaltes liegt bei ca.  $\pm 0.6 \text{ ‰}$ , was bei den starken Salzgehaltsschwankungen des Untersuchungsgebietes als ausreichend erscheint.

## 2.2 CTD-Messungen

Während die Verankerungen auslagen, wurden CTD (conductivity, temperature, depth) - Stationen mit der Multisonde (KROEBEL, 1973) gefahren. Die Stationen verteilen sich auf die Schnitte und auf drei Dauerstationen in der Vejsnäsrinne bei der Verankerung "Langzeit". Jeweils im Abstand von einigen Tagen wurden drei hydrographische Schnitte über den Großen Belt, vier vor dem Fehmarnbelt (Vinds Grav), sechs quer und einer längs über die Vejsnäsrinne und einer vor dem Kleinen Belt während der "Poseidon"-Reise 27 gefahren. Die Daten werden ergänzt durch die während der Fahrt 29 aufgenommenen Schnitte vor dem Großen Belt, quer zur Vejsnäsrinne und quer zum Fehmarnbelt. Der zeitliche Ablauf der CTD-Stationen ist in Tabelle 1 zusammengefaßt. Die Multisonde war mit Fühlern für Temperatur, Druck, elektrische Leitfähigkeit und Attenuation des roten Lichtes (670 nm) ausgerüstet. Der im Bordteil der Anlage verwendete Microprocessor erlaubte die Berechnung des gemessenen Salzgehaltes während der laufenden Messung. Die Werte wurden einer späteren Kontrolle mittels des über der Multisonde gefahrenen Schöpfers unterzogen. Die mit dem Microprocessor erhaltenen Salzgehaltsdaten wurden als ausreichend genau erachtet. Temperatur, Leitfähigkeit, Druck und Attenuation sind nach Herstellerangaben mit Fehlern von  $0,001^{\circ}\text{C}$ ,  $1 \mu\text{S/cm}$ ,  $0,01 \text{ dbar}$  bzw.  $0,0004 \text{ m}^{-1}$  behaftet. Die Daten wurden nach PETERS (1976) aufbereitet.

### 2.3 DOPY

Zur Verfolgung der kurzzeitigen Schwankungen der Temperaturstrukturen in der Wassersäule wurde die Datenboje DOPY (Drifting Oceanographic Profile Buoy) eingesetzt. Diese neuartige Meßmethode wird zur Zeit im Rahmen der Arbeitsgruppe "Meereskundliche Meßtechnik" des Instituts für Angewandte Physik entwickelt. Neben der Erfassung der Zeitserien der Temperaturstrukturen aus dem Bereich der Temperatursprungschicht waren die Erprobung und die Gewinnung bojenspezifischer Testdaten Ziel des Experimentes.

Die Boje verhält sich wie eine Spierenboje (geringe durch Oberflächenwellen angeregte Vertikalbewegungen). In ca. 10 m Wassertiefe befindet sich eine Plattform, die durch einen Glasfibermast und kleine Auftriebskörper an die Wasseroberfläche gekoppelt ist. Auf dieser Plattform sind die Datenerfassungsanlage OBS des SFB 95 mit 12 Volt Akkumulatoren, einige Sensoren (Neigungswinkel, Magnetometer) und eine Winde montiert. Mit Hilfe der Winde können eine Vielzahl von Sensoren in eine gewünschte Wassertiefe positioniert werden. Auf dieser Meßfahrt wurde mit Temperaturmeßketten, zwei Temperaturmeßsonden, 2 Leitfähigkeitssonden und 2 Druckaufnehmern gearbeitet. Die Meßdaten wurden über Funk an eine Station an Bord des Schiffes übertragen. Steuerbefehle für die Wahl von Meßprogrammen und für die Winde konnten vom Schiff aus zur Boje gesendet werden.

Wegen der ungünstigen Wetterbedingungen konnte das Driftexperiment nicht wie geplant über 48 Stunden durchgeführt werden, aber in mehreren kürzeren Einsätzen über 2 - 4 Stunden wurden wichtige Informationen über das Bewegungsverhalten der Boje, Durchführbarkeit der Aussetz- und Aufnahmemanöver, Einsatz einer Funkpeilung, Reichweite der Funkstrecke und über das Betriebsverhalten der Winde gewonnen.

Die Messungen über Feinstrukturen der Temperatursprungschicht, die hier vorgestellt werden, wurden auf der Dauerstation 5 vom 2. bis zum 3. März parallel zu einer Dauer-

station mit Multisondenprofilmessungen gewonnen. Hierbei befand sich die Plattform der Boje an Bord des verankerten Schiffes. Per Hand wurden die Meßketten über das Windenkabel in der richtigen Wassertiefe positioniert, in der sie nahezu während der gesamten Dauerstation hingen. Die Temperaturketten enthalten jeweils 8 Thermistor-temperaturfühler in äquidistanten Abständen von ca. 1 m (Meßwertauflösung  $\pm 0,01$  K, Zeitkonstante ca. 1 s). Die Messungen von allen 16 Sensoren wurden synoptisch alle 21s gewonnen und auf Kassetten gespeichert. Zur Bestimmung der Wassertiefe wurden DMS Drucknehmer verwendet, deren Auflösung nur  $\pm 6$  cm für den oberen Sensor und  $\pm 3$  cm für den unteren Sensor betragen. Eine vorläufige Datenauswertung erfolgte an Bord des Schiffes, weitere Datenaufbereitungen wurden an Land durchgeführt.

Druckvariationen waren wegen des Digitalisierungsfehlers nicht zu erkennen. Zur Auswertung wurden aus diesen Druckwerten und der Kettengeometrie die jeweiligen Tiefenwerte der einzelnen Sensoren bestimmt. (Bei den in den Zeichnungen angegebenen Druckwerten ist der atmosphärische Druck abgezogen worden, um eine ungefähre Angabe über die Wassertiefe zu erhalten). Die mit Hilfe der Temperaturmeßketten gewonnenen Daten zeigen während der Meßphasen der Dauerstationen eine Temperaturinversion, die sich von ca. 13 m bis 18 m Wassertiefe erstreckt, so daß eine direkte Darstellung der Zeitserien der gemessenen Temperaturen unübersichtlich wird. Ausschnitte aus Zeitserien der Temperaturprofile während der Station 5 am 2.3. (Abb. 36) zeigen Veränderungen der Strukturen. Die einzelnen Profile wurden durch vertikale Interpolation zwischen den einzelnen Meßdaten (Splinefunktionen mit nahezu linearem Charakter) gewonnen, wobei eine Glättung mit Hilfe von Gauß'schen Tiefpaßfiltern über Zeitserien auf Isobaren angewandt wurde (Tiefpaß 4. Ordnung, - 3dB-Periode: 200s).

## 2.4 Triftstrommessungen

Während der "Poseidon"-Reise 29 fand von zwei Schiffen aus ein Kieler-Bucht-Experiment der Abteilung Theoretische Ozeanographie des IfM statt, bei dem mit Triftkörpern die Strömung in den oberen 16 m der Kieler Bucht gemessen wurde; gleichzeitig wurden auch Multisondenschnitte gefahren (HARDTKE, 1978).

## 3 Ergebnisse

Die erhaltenen Zeitreihen der Strömungskomponenten in Ost-West- bzw. Nord-Süd-Richtung sind zusammen mit den Meßwerten der Temperatur und denen des berechneten Salzgehaltes in den Abb. 4, 5 und 6 dargestellt. Es fehlt die Darstellung der Strombeobachtung von der Verankerung "Großer Belt" aus 22 m, da kurz nach Auslegung der Verankerung der Rotor verloren ging. Die statistischen Ergebnisse aller Meßreihen sind in Tabelle 2 zusammengefaßt. Die Ergebnisse der CTD-Beobachtungen sind in der Mehrzahl in Form von Schnitten der Temperatur und des Salzgehaltes in den Abb. 11 - 28 dargestellt.

Aufgrund der in den Registrierungen der Station "Großer Belt" (Abb. 4) vorkommenden Schwingungen wurde eine harmonische Analyse der Meßreihen durchgeführt, deren Ergebnisse in Abb. 7 und in Tabelle 3 dargestellt sind. Zur Verdeutlichung der dabei gefundenen halbtägigen Gezeitenströme am Ausgang des Großen Belts haben wir die Energiedichtespektren der Strömungskomponenten in Abb. 8 berechnet.

Die Gezeiten der Ostsee sind hauptsächlich Mitschwingungsgezeiten der Nordsee; dementsprechend sind die Gezeitenströme durch die Verengung des Großen Belts relativ groß. Die halbtägigen Schwankungen sind auch in der Temperatur und im Salzgehalt wiederzufinden, besonders in der zweiten Hälfte der Meßzeit, wo maximale Strömung mit ansteigendem Salzgehalt zusammenfällt und umgekehrt. Das läßt darauf schließen, daß sich im Bereich der Verankerung "Großer Belt" während des Untersuchungszeitraumes eine Front salzreichen Kattegatwassers mit der Gezeitenströmung hin- und herbewegt. Das führt

im Extremfall zu Schwankungen um  $8,5 \text{ ‰}$  innerhalb einer halben Gezeitenperiode.

Ebenso, wie das Gezeitensignal im Großen Belt einem im Rhythmus von 3 Tagen schwankenden Einstrom überlagert ist (s. Abb. 31), zeigt die Verankerung am Boden der Vejsnäsrinne zwei Einstromschübe am 6.3. und am 9.3. (Abb. 5c und 30); das Gezeitensignal bildet hier nur noch eine geringe Modifikation. Die Stromspitzen liegen hier bei  $60 \frac{\text{cm}}{\text{sec}}$ . 3 km weiter südlich am Rinnenhang ist von diesen starken Strömungen kaum etwas zu spüren (Abb. 6c und 29). Bis auf die schwach ausgeprägten Gezeiten ist die Korrelation zwischen der Strömung in der Vejsnäsrinne und der im Großen Belt besser als zwischen Rinne und Südhang.

Die aufgrund der Kometenmarken vermutete hohe Geschwindigkeit am Südhang trat trotz hoher Bodenströmungen in der Rinne in diesem Meßzeitraum nicht auf. Tabelle 2 zeigt eine Zusammenstellung von Mittelwert und Varianzen in den einzelnen Strömungszeitreihen. Die Werte der Verankerung Südhang (Tab. 2c) liegen sowohl im Mittel als auch in den Varianzen am niedrigsten. Beide Strömungsmesser befanden sich während der ersten Hälfte der Meßzeit in der durchmischten Oberschicht und nur das untere Gerät (18 m) wurde ab dem 7.3. von der salinen Sprungschicht erfaßt.

Bei den Verankerungen "Großer Belt" und "Langzeit" ist zu bemerken, daß bei den längerperiodischen Bewegungen der Salzgehalt entsprechend den Strömungsschwankungen zu- und abnimmt, obwohl die Strömung nicht die Richtung wechselt (s. Abb. 4, 5, 31). Der Rückgang des Salzgehalts fällt also lediglich mit einer Verlangsamung des Einstroms zusammen, nicht mit einer Umkehr, d.h., daß die Salzgehaltsabnahme nicht auf horizontale Advektion von salzarmem Wasser zurückzuführen ist. Zusammen mit dem in den Schnitten festgestellten starken vertikalen, jedoch in Richtung der Rinnenachse schwachen Salzgehaltsgradienten liegt die Vermutung nahe, daß hier vertikale und laterale Bewegungen eine Rolle spielen.



## 4 Diskussion

### 4.1 Allgemeine Schichtungsverhältnisse

Um die vielfältigen Meßergebnisse in ein Gesamtbild zu übertragen, wurde der Versuch unternommen, charakteristische Schichtungsdaten für die Zeiträume 3. - 10. März 1978 und 31. März - 2. April 1978 in ein einziges Temperatur-Salzgehaltsdiagramm einzuzeichnen. Die Analyse des so entstandenen T/S-Diagramms (Abb. 10) muß Rücksicht auf die Tatsache nehmen, daß wir es hier nicht mit einem abgeschlossenen System im Inneren des Meeres zu tun haben, wie es bei der klassischen Methode der Kernschicht nach WÜST vorausgesetzt wird. Im Gegensatz dazu finden im vorliegenden Falle an der Oberfläche Austauschvorgänge statt, die zusammen mit advektiven Vorgängen die Interpretation erschweren.

Abb. 10 demonstriert die beobachteten Salzgehaltsschwankungen im gesamten Beobachtungszeitraum und -gebiet zwischen Oberfläche und Boden, die zwischen 12 ‰ und 27 ‰ lagen. Dabei repräsentieren die Werte  $> 18$  ‰, die fast ausschließlich unterhalb der halinen Sprungschicht vorkommen, die Bodenverhältnisse. Werte  $< 18$  ‰ wurden im Bereich oberhalb der Salzgehaltssprungschicht gemessen; sie sind typisch für "Ostseewasser", eine Mischwassermasse, die aufgrund der klimatischen und geographischen Verhältnisse der inneren Ostsee gebildet wird. Im Gegensatz dazu stammt das salzreichere Wasser am Boden ursprünglich aus der Nordsee. Es hat die Kieler Bucht durch das Kattegatt und die Belteingänge erreicht. Zugehörige Temperaturen liegen im Bereich  $2 - 4^{\circ}\text{C}$  am Boden und zwischen  $1 - 2^{\circ}\text{C}$  zu Anfang März und  $< 3^{\circ}\text{C}$  am Ende des März an der Oberfläche.

Alle genannten Werte unterliegen zeitlichen Schwankungen, wie sie an den kontinuierlichen Aufzeichnungen der Strömungsmesser abgelesen werden können. Die am Ausgang des Großen Belts in 4 m Bodenabstand aufgezeichneten Salzgehaltsfluktuationen (Abb. 4a) sind mit einer Standardabweichung von  $\pm 1,9$  ‰ behaftet (vgl. Tabelle 2). Trotz dieser vorkommenden Variationen und trotz der möglichen Austauschvorgänge an der Meeresoberfläche stellt das T/S-Diagramm in Abb. 10 zumindest für die Zeit Anfang März die hydrographische Situation als ein Zweischichten-Vermischungsmodell mit den Ausgangswassermassen

(27 ‰, 4°C) und (14 ‰, 1°C) dar. Die hierin manifestierte Vermischung von "Kattegattwasser" am Boden und darüberliegendem "Ostseewasser" wird besonders deutlich im Längsschnitt durch die Vejsnäsrinne (Abb. 21).

Analoge Ausbreitungs- und Vermischungsprozesse in Bodennähe wurden auf den fünf Schnitten zwischen dem Großen Belt und dem Fehmarnbelt (Abb. 13 und 15 - 18) beobachtet. Weniger klar sind die Verhältnisse am Südausgang des Kleinen Belts (Abb. 20), wo aufgrund des vorliegenden Materials schlecht unterschieden werden kann, ob die Wassermassen am Boden durch die Vejsnäsrinne genährt werden oder ob sie im Zusammenhang mit Einstromvorgängen durch den Kleinen Belt zu deuten sind.

Komplizierter als in dem zu Anfang März zutreffenden Zweischichtenmodell werden die Verhältnisse mit zunehmender Frühjahrserwärmung. Diese baut eine warme Deckschicht auf, die zur Isolation des kälteren Winterwassers beiträgt. Es kommt zur Ausbildung einer dritten Wassermasse mit  $T > 3^{\circ}\text{C}$ , die oberhalb des von ihr gebildeten intermediären Temperaturminimums liegt. Die Verhältnisse, wie sie zu Ende März angetroffen wurden, sind ebenfalls in Abb. 10 eingetragen. Außerdem werden sie in Form des Profiles Nr. 1339, beobachtet am 1.4.78 in der Marstalrinne, vorgestellt (Abb. 9). Diese Station stellt zudem eine Kuriosität dar, da sie an der tiefsten Stelle (38 m) der gesamten Kieler Bucht bei  $\rho = 54^{\circ}45,1' \text{ N}$ ,  $\lambda = 10^{\circ}30,5' \text{ E}$  aufgenommen wurde.

#### 4.2 Kurzfristige Veränderlichkeit der hydrographischen Schichtung

Als ein Beispiel kurzfristiger hydrographischer Veränderlichkeit werden in Abb. 35 a und b typische Einzelprofile und Isoplethen des Salzgehaltes und der Attenuation von den 12 bzw. 16 Stunden langen Dauerstationen 5 und 78 dargestellt. Beide Datensätze wurden mit demselben Gerät am selben Ort im Abstand von 2 Tagen gemessen. Station 5 (Abb. 35a) zeigt eine deutliche Zweischichtung im Salzgehalt mit dem stärksten Gradienten in 16 m Tiefe. Oberhalb dieser Sprungschicht finden wir ein schwach ausgeprägtes Maximum in der Attenuation mit Werten  $> 1,2 \text{ m}^{-1}$ . Unmittelbar unter der Salzsprungschicht wurde

ein deutliches intermediäres Minimum der Attenuation ( $< 0,4 \text{ m}^{-1}$ ) gemessen. Inwieweit eine systematische Zunahme der Attenuation unterhalb des Minimums zum Boden hin vorhanden war, läßt sich nicht bestimmen, da aus Sicherheitsgründen die Multisonde nur bis 2 - 3 m über dem Boden gefiert wurde. Ein ähnliches Verhalten der Attenuation mit einem schwächer ausgeprägten Maximum  $> 1,0 \text{ m}^{-1}$  wurde auf Station 78 (Abb. 35b) festgestellt. Ein wesentlich anderes Verhalten zeigt dagegen der Salzgehalt, dessen Zweischichtung sich zu Gunsten einer gleichmäßigen Zunahme mit der Tiefe aufgelöst hat. In Bodennähe ist der Salzgehalt gegenüber der Zeitreihe von Station 5 um  $> 2 \text{ ‰}$  angestiegen. Trotz der relativ hohen Abfragerate von 15 min, die advektierte Ereignisse wie die graduelle Verminderung der Attenuation in 28 m Tiefe während des letzten Viertels der Station 78 aufzulösen vermögen, reicht im vorliegenden Falle die Häufigkeit der Beobachtungen nicht aus, um hochfrequente interne Schwingungen darstellen zu können. Die Stabilitätsperiode der Sprungschicht in Station 5 liegt bei 0 (2 min). Zu ihrer Auflösung konnten im vorliegenden Falle die Messungen von DOPY mit seiner fast kontinuierlichen Abfragerate herangezogen werden.

Die periodische Variation der Temperaturprofile legt nahe, daß es sich hier um den Einfluß interner Wellen handelt. Die in Abb. 36 hervorstechende Periode liegt bei 11 min, d.h. sie ist länger als die Väisäläperiode  $N$  der Sprungschicht und der Unterschicht. Aus Abb. 37 lassen sich für die Schichten

10 - 17 m	$N = 37,5 \text{ cph}$ ( $T = 1,6 \text{ min}$ ) und
17 - 30 m	$N = 8 \text{ cph}$ ( $T = 7,4 \text{ min}$ )

ermitteln.

Anhang eines stark vereinfachenden Modells wurde der Einfluß interner Wellen auf die vorgefundene Temperaturschichtung simuliert.

Unter Vernachlässigung von Diffusion und Wärmeleitung und unter der Annahme, daß horizontale Advektion hier eine untergeordnete Rolle spielt, wird die Temperatur über den betrachteten Zeitraum hin als konservative Größe angesehen,

deren Schwankungen nur durch interne Wellen zustande kommen:

$$\frac{\partial T(z,t)}{\partial t} = - \frac{d\bar{T}(z)}{dz} W(z,t) \quad (1)$$

wobei  $\bar{T}$  das zeitlich gemittelte Temperaturprofil bedeutet,  $W(z)$  die Vertikalgeschwindigkeitskomponente einer internen Welle und  $z$  die nach unten positive Vertikalkoordinate. Aus den Isoplethendarstellungen der DOPY-Messungen (Abb. 36b) ist zu erkennen, daß die maximale Auslenkung der Isothermen ca. 1 m beträgt und oberhalb der Inversion bei 10 m zu finden ist; unterhalb der Inversion, in der Dichtesprungschicht, ist die Auslenkung minimal. Diese Vertikalverteilung läßt vermuten, daß es sich um den zweiten Eigenwert handelt, der seinen Knoten der Vertikalauslenkung bei 15 m hat, wenn die internen Wellen die gesamte Wassersäule  $H$  von 30 m erfassen.

Zur Simulation wurde daher

$$W(z) = \alpha \sin \frac{2\pi}{H}z \cdot \cos 2\pi\omega t \quad (2)$$

gewählt.

In Gleichung (1) eingesetzt und über die Zeit integriert erhält man

$$T(z,t) = T(z,0) - \frac{d\bar{T}}{dz} \frac{\alpha}{2\pi\omega} \sin \frac{2\pi}{H}z \sin 2\pi\omega t \quad (3)$$

Das gemessene Temperaturprofil läßt sich angenähert beschreiben durch (s. Abb. 38):

$$\bar{T}(z) = T(z,0) = A \cdot e^{-B\hat{z}} - (C\hat{z})^D e^{E\hat{z}} \quad (4)$$

mit  $\hat{z} = F - z$ .

Die Konstanten sind:  $A = 1,7$

$B = 0,025$

$C = 0,208481$

$D = 25,1488$

$E = 1,934523$

$F = 26$

Die Temperatur  $\bar{T}$  hat die Einheiten  $^{\circ}\text{C}$ , wenn die Tiefe  $z$  in m eingegeben wird.

In die Gleichung (3) wurde weiterhin eingesetzt

$$\frac{\alpha}{2\pi\omega} = 1 \text{ m}, H = 30 \text{ m}, \omega = 1/11 \text{ min}$$

Der damit berechnete zeitliche Verlauf der Temperaturprofile ist in Abb. 39 dargestellt. Die Übereinstimmung im zeitlichen Verlauf der gemessenen und berechneten Temperaturprofile zeigt,

wie zumindest über kurze Zeiträume das Verhalten der geschichteten Wassersäule der Kieler-Bucht-Rinnen allein durch interne Wellen bestimmt sein kann.

#### 4.3 Charakteristische Aus/Einstromlagen

Die Ausgangssituation am 3. März (Abb. 11) zeigt im Großen Belt das typische Bild eines bei südöstlichen Winden stattfindenden Ausstroms von Ostseewasser an der Oberfläche, das infolge der Corioliseinwirkung aus dem Fehmarnbelt kommend nach rechts zum Großen Belt hin abgelenkt wird. Gleichzeitig wurde bei der Verankerung "Großer Belt" am Boden (Abb. 4c) ein deutlicher Einstrom gemessen. Als Ergebnis dieses Einstroms ist der Salzgehalt in Tiefen unterhalb von 12 m Tiefe stark angestiegen und es hat sich eine scharfe Sprungschicht zwischen einströmendem warmen Kattegatt-Tiefenwasser und oben ausfließendem Ostseewasser gebildet. Die West-Ost-Neigung der 15 ‰ Isohaline am 5.3. (Abb. 12) beträgt

$$\tan \alpha = 7 \text{ m} / 10,3 \text{ km} = 6,8 \times 10^{-4}, \implies \alpha = 0,04^\circ$$

Unter der Voraussetzung, daß die Strömung durch den Großen Belt geostrophisch balanciert ist, können wir mit Hilfe der thermischen Windgleichung die vertikale Scherung der horizontalen Strömung

$\frac{\partial u}{\partial z}$  berechnen:

$$\frac{\partial u}{\partial z} = -\frac{g}{\rho f} \frac{\partial \rho}{\partial z} \tan \alpha, \text{ bzw. } \frac{\Delta u}{\Delta z} = -\frac{g}{\rho f} \frac{\rho_2 - \rho_1}{\Delta z} \tan \alpha$$

Daraus ergibt sich mit Erdbeschleunigung  $g = 981 \text{ cm/sec}^2$ ,  
Coriolisparameter  $f = 10^{-4} \text{ sec}^{-1}$ ,

Dichte  $\rho = 1$

und

$$\rho_1 (12 \text{ ‰}, 1.4^\circ\text{C}) = 1,0096, \rho_2 (22 \text{ ‰}, 3^\circ\text{C}) = 1.0175,$$

$\Delta z = 18 \text{ m}$  und der oben angeführten Neigung der Sprungschicht von  $\alpha = 0,04^\circ$

$$\frac{\Delta u}{\Delta z} \approx 3 \frac{\text{cm/s}}{\text{m}}.$$

Diese Abschätzung ergibt somit einen Ausstrom von  $34 \text{ cm s}^{-1}$  an der Oberfläche,  $18 \text{ m}$  über dem am Boden gemessenen Einstrom von im Mittel  $20 \text{ cm s}^{-1}$  (Abb. 31b).

Innerhalb der folgenden drei Tage findet infolge der Änderung der Großwetterlage und damit einer Winddrehung von Ost nach West (s. Abb. 34) eine Umkehr der Strömung in der Ober-schicht statt. Eine Serie von Driftkörpern, ausgelegt quer über den Ausgang des Großen Belt in vier Tiefenstufen über jeweils 5 m, zeigt starken Einstrom im Westen an der Ober-fläche, der langsam zur Tiefe abnimmt (HARDTKE, 1978). Ein T/S-Schnitt am 7.3. zeigt eine enorme Erhöhung des Salzge-halts an der Oberfläche und eine stark ausgeprägte Front in Nord-Südrichtung. Die hydrographischen Schnitte vor dem Fehmarn-belt zeigen, daß diese Front in den Fehmarnbelt hinein um-biegt (Abb. 15 - 18). Ein Driftkörperschnitt südlich des Großen Belt zeigt einen starken gebündelten Strom ost-süd-ostwärts in den Fehmarnbelt hinein, während ein wesentlich schwächerer Arm in südwestlicher Richtung geht; nur am äußersten Rand ist eine schwache nordwestliche Komponente zu erkennen, die in die Vejsnäsrinne zielt. Auch in den hydrographischen Schnitten ist in der Vejsnäsrinne eine viel ruhigere Situa-tion zu erkennen (Abb. 21 - 27). Im Gegensatz zu der steilen Front im Fehmarnbelt ist in der Vejsnäsrinne sogar am Boden nur eine schwache Neigung der Isohalinen und Isothermen fest-zustellen. Von dem hydrographischen Umbruch, der sich im Aus-gang des Großen Belt innerhalb weniger Tage vollzieht, ist in den oberen Schichten der Vejsnäsrinne bis auf einen leich-ten Salzgehaltsanstieg (und Temperaturanstieg) im gesamten Meßzeitraum nichts zu spüren.

Ein Vergleich der Schnitte in den Abb. 12 und 13 mit den Registrierungen der Verankerung "Großer Belt" macht deutlich, welche begrenzte Aussagekraft die hydrographischen Schnitte haben, wenn innerhalb eines Vierteltages die Isohalinen und Isothermen sich um mehr als 15 m verlagern können.

#### 4.4 Merkmale bodennaher Strömungen

Im Hinblick auf die Untersuchungen der bodennahen Strömung bieten die Strömungszeitreihen in der Vejsnäsrinne und am Südhang die Gelegenheit, die vertikale Scherung zu betrach-ten. Die Abb. 29 und 30 zeigen die Differenzen des Strombe-trages jeweils zwischen oberem und unterem Niveau. Dabei zeigt

die Scherung am Südhang zwischen 16 m und 18 m (Abb. 29), also im Bereich der winterlichen Sprungschicht (s. z.B. Abb. 9) gute Korrelation mit dem Verlauf des Strombetrages im oberen Niveau (16 m) selber. Die Scherung nimmt mit wachsender Strömungsgeschwindigkeit zu, d.h., daß die oberen Schichten des Wassers eine Beschleunigung erfahren, die über turbulenten Impulsaustausch nach unten durchgreift. Bei abnehmender Geschwindigkeit geht auch die Scherung zurück und nimmt zum Teil sogar negative Werte an, d.h., daß die Strömung in Bodennähe träge ist und die Geschwindigkeit hier durch Bodenreibung langsamer gedämpft wird als die Geschwindigkeit in oberen Schichten durch andere Effekte.

Anders verhält sich die Scherung über dem Rinnenboden in 5 m und 8 m über dem Boden und damit unterhalb der Sprungschicht (Abb. 30). Hier ist zum Teil eine ausgeprägte umgekehrte Korrelation zwischen Strömung und Differenz festzustellen. Bis auf das erste Drittel des Zeitraums nimmt die Scherung mit zunehmender Strömungsgeschwindigkeit ab und wird bei dem kräftigen Einstrom am 9.3. sogar negativ. Das deutet darauf hin, daß die treibende Kraft für den gemessenen Einstrom des salzreichen Wassers tatsächlich in Bodennähe wirkt. Deutlich wird dieser Sachverhalt auch aus dem Streudiagramm (Abb. 32), in dem die Wertpaare  $|v|$  (25 m) und  $|v|$  (22 m) übereinander aufgetragen sind. Die Anordnung der Werte legt nahe, daß bei starker Strömung ein anderer Zusammenhang zwischen den Geschwindigkeiten in den unterschiedlichen Niveaus besteht als bei schwacher Strömung.

Nimmt man eine Trennung bei  $|v|$  (28 m) =  $20 \frac{\text{cm}}{\text{sec}}$  vor, so erhält man bei niedriger Strömung ( $< 20 \frac{\text{cm}}{\text{sec}}$ ) eine Steigung der Regressionsgeraden, die größer ist als 1, d.h. mit wachsender Geschwindigkeit wird die Scherung zum Boden größer. Bei starker Strömung ist die Steigung deutlich  $< 1$  (0,54), d.h. mit weiter wachsender Geschwindigkeit wird die Scherung wieder ge-

ringer. Bei den Spitzenwerten, die hier um  $60 \frac{\text{cm}}{\text{sec}}$  liegen, schneidet die Regressionsgerade die Diagonale des Diagramms, hier ist also keine Scherung mehr zwischen 5 m und 8 m über dem Boden zu finden, womöglich kehrt sich bei noch höheren Geschwindigkeitswerten das Vorzeichen der Scherung um.

Aus den Langzeitmessungen (WITTSTOCK, et. al., 1978) an der gleichen Stelle in 2 m und 5 m Höhe über dem Boden ergibt sich zeitweise das gleiche Verhalten. Das zeigt, daß sich zum Teil der Prozeß von schubweisem Eindringen des salzreichen Kattegattwassers vorwiegend am Boden bis zu einer Höhe von 5 - 8 m abspielt und nicht das Bodenwasser durch die oberen Schichten mitbewegt wird.

Durch eine weitere, allerdings nur 14 Stunden währende Messung wurde diese Struktur der Rinnenströmung sehr klar bestätigt. Während einer Dauerstation auf der Position der Verankerung "Langzeit" wurde mit einem Aanderaa-Profilier vom verankerten Schiff aus vom 8.3. 15:40 bis zum 9.3. 05:40 im halb-stündigen Rhythmus in den Tiefenstufen 5 m, 10 m, 15 m, 20 m und 25 m die Geschwindigkeit alle 30 sec registriert. Die Tiefenstufen wurden insgesamt sechsmal durchfahren und nur während der letzten beiden Perioden traten Schwajbewegungen des Schiffes auf, die die Strömungsmessungen unbrauchbar machten. Abb. 33 zeigt die Stromprofile aus den vier ersten Perioden, bei denen in der Oberflächenschicht kaum Bewegung vorhanden ist, während in der Rinne Geschwindigkeiten bis zu  $50 \frac{\text{cm}}{\text{sec}}$  auftreten.

Ein Vergleich mit Abb. 5 d zeigt, daß diese Messungen in eine Phase ansteigender Bodenströmung fallen und damit die oben angeführte These stützen, daß in diesem Fall die Rinnenströmung unabhängig von einer lokal erzeugten Zirkulation in den oberen Schichten der Kieler Bucht verläuft.

## 5. Zusammenfassung und Ausblick

In einer Meßzeit von nur 8 Tagen wurde eine typische Umschlagsituation in der Kieler Bucht erfaßt, die auf die Komplexität dieses Seegebiets als Bindeglied zwischen Nord- und Ostsee hinweist.



Das umfangreiche hydrographische Beobachtungsmaterial zeigt im Zusammenhang mit Triftkörpermessungen, daß sich in der Tiefe auch bei Einstromlagen vom Kattegat durch die Belte in die Ostsee die Umlagerungen hauptsächlich im Nordosten der Kieler Bucht abspielen. Dennoch haben Strömungsmessungen in der Sohle und am Abhang der Vejsnäsrinne im Norden der Kieler Bucht deutlich gemacht, daß die Strömung in den untersten 8 m in der Rinne weitgehend vom Einstrom salzreichen Wassers aus dem Kattegatt beeinflußt wird. Die Einstromlagen werden offensichtlich unabhängig von den lokalen Schichtungsparametern oberhalb der Rinnenvertiefung je nach hydrographischer Situation im Kattegat "ferngesteuert".

Die mehrjährigen Dauerstrommessungen in der Vejsnäsrinne (HATJE, 1976, 1977; WITTSTOCK et. al., 1978) müssen zur Erhärtung dieser Arbeitshypothese herangezogen werden, aus denen sich dann auch Konsequenzen für Austausch und Erneuerung von Bodenwasser in den tieferen Gebieten der Kieler Bucht ergeben könnten.

Aus den Ergebnissen der Dauerstrom- und der vorliegenden Messungen folgt die Aufgabe, die räumliche Struktur der Bodenströmung in der Kieler Bucht zu erfassen. Die durch die Belte und die Rinnen der Kieler Bucht zirkulierende Bodenströmung wurde im Frühjahr 1979 von WITTSTOCK simultan über mehrere Wochen vermessen. Mit dem erhaltenen Datensatz soll versucht werden, eine Bilanz des Ein- und Ausstroms in dem Rinnensystem der nördlichen und nordöstlichen Kieler Bucht zu errechnen, um die Dauerstrommessungen im Gesamtrahmen der Hydrographie der westlichen Ostsee interpretieren zu können.

Zur Erfassung der kleinräumigen hydrographischen Schichtungsverhältnisse und des Strömungsprofiles in der Bodengrenzschicht (< 5 m) sind umfangreiche Meßeinsätze mit der Profilmessanlage im Sommer und Herbst 1979 geplant. Falls es gelingen sollte, die hier beschriebenen kräftigen Einstromschübe erneut zu erfassen, soll ihre Erosionswirksamkeit unter Berücksichtigung der hydrographischen Schichtung näher untersucht werden.

### Danksagung

Wir danken allen, die beim Zustandekommen dieses Berichtes mitgeholfen haben. Ausdrücklich sei der intensive Einsatz unseres Forschungsschiffes "Poseidon" unter seinem Kapitän H. Schmickler erwähnt, ohne dessen Zusammenarbeit in mehreren schwierigen Situationen das Sammeln des umfangreichen Datenmaterials in der bemessenen Zeit nicht möglich gewesen wäre. Diskussionen mit unseren Kollegen R. Wittstock, G. Hardtke und R. Käse waren von Nutzen für unsere Arbeit. Die Datenreduktion wurde weitgehend von C. Tietze, die graphischen Darstellungen vollständig von A. Schurbohm ausgeführt. Diese Arbeiten wurden von der Deutschen Forschungsgemeinschaft durch den SFB 95 gefördert. Die Datenaufbereitung erfolgte zum Teil am Rechenzentrum der Universität Kiel. Das Projekt DOPY "Driftende Meßboje" wird durch den BMFT (Nr. MTKO 1177) finanziell unterstützt.

Literaturverzeichnis

- DIETRICH, G. (1951): Oberflächenströmungen im Kattegat, im Sund und in der Beltsee.  
Deutsche Hydrograph. Zeitschrift 4,  
p. 129
- HARDTKE, P.G. (1978): About the velocity field in the Kiel Bay, Proceedings of the 11th Conference of Baltic Oceanographers, Rostock, April 1978, Vol. 2, 776-779
- HATJE, G. (1976): Strömungen in der Vejsnäsrinne 1975/76. Report Sonderforschungsbereich 95 "Wechselwirkung Meer-Meeressboden" Universität Kiel, Nr. 24
- HATJE, G. (1977): Strömungen in der Vejsnäsrinne 1976/77. Report Sonderforschungsbereich 95 "Wechselwirkung Meer-Meeressboden" Universität Kiel, Nr. 31
- KÄNDLER, R. (1951): Der Einfluß der Wetterlage auf die Salzgehaltsschichtung im Übergangsbereich zwischen Nord- und Ostsee.  
Deutsche Hydrograph. Zeitschrift 4,  
p. 150
- KÄSE, R., G. SIEDLER, W. ZENK, H. PETERS (1978): A Compilation of Current, Temperature and Conductivity Data from Moorings F1 and F2 in the GATE-C-Area.  
"Meteor" Forschungsergebnisse, Reihe A, 20, 13-48
- KROEBEL, W. (1973): Die Kieler Multimeeressonde.  
"Meteor" Forschungsergebnisse, Reihe A, 12, 53-67
- KRUG, J. (1963): Erneuerung des Wassers in der Kieler Bucht im Verlaufe eines Jahres am Beispiel 1960/61.  
Kieler Meeresforschungen 19, p. 158
- PETERS, H. (1976): GATE-CTD data measured on the F.R.G. ships - shipboard operations - calibration - editing.  
Ber. Inst. f. Meeresk., Nr. 22, Kiel, 16 pp.
- PETERSOHN, U., P. DIEKMANN (1979): DOPY-Minimum Motions Drifting Databuoy.  
Proc. Oceans '79 Conf. im Druck
- WITTSTOCK, R., U. SCHAUER, G. SCHALLER (1978): Strömungen in der Vejsnäsrinne 1977/78.  
Report Sonderforschungsbereich 95 "Wechselwirkung Meer-Meeressboden" Universität Kiel, Nr. 45

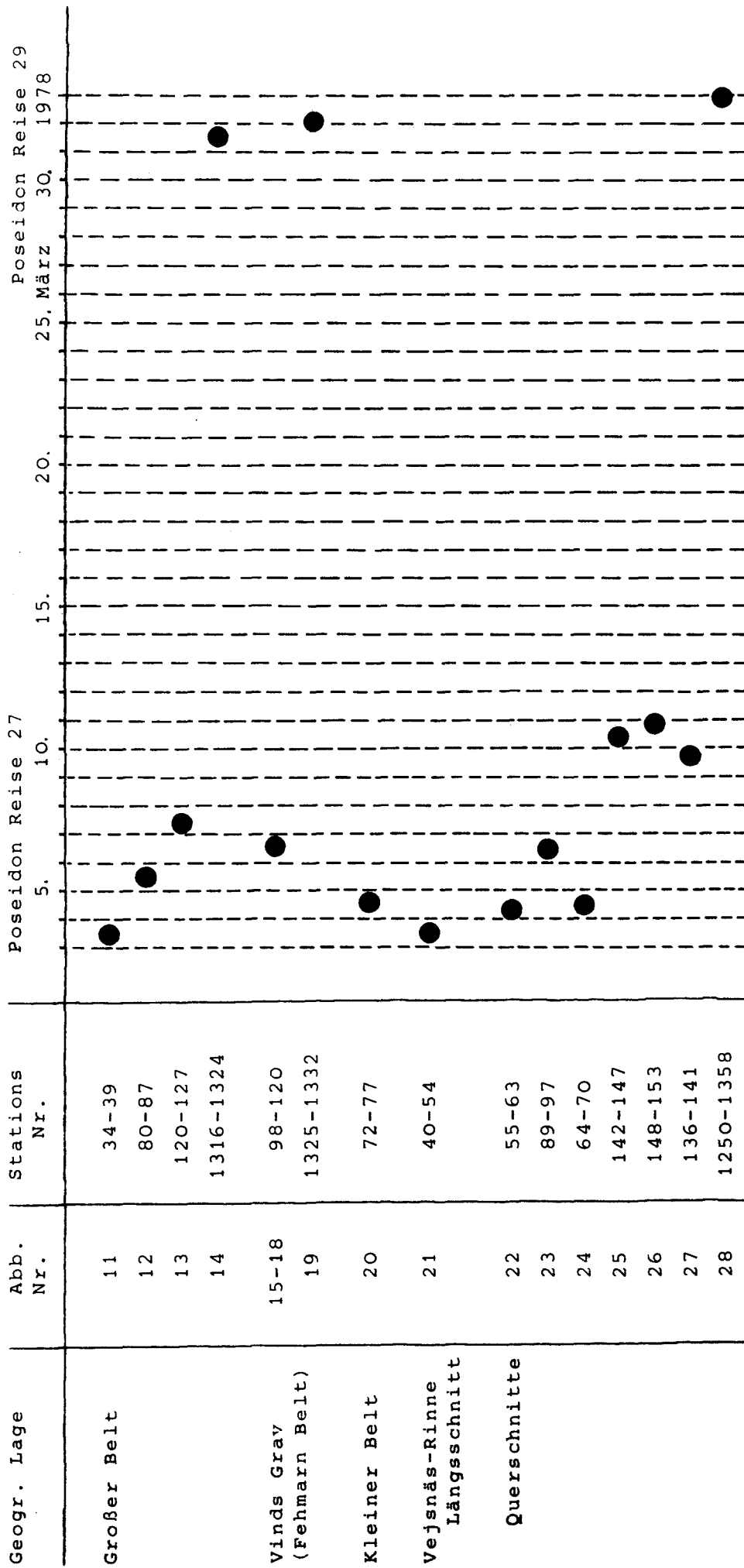


Tabelle 1 Verzeichnis der hydrographischen Schnitte und ihre gegenseitige räumliche und zeitliche Zuordnung. Die Daten wurden während der "Poseidon"-Reisen 27 (2.3.-10.3.1978) und 29 (28.3.-3.4.1978) aufgenommen.

FILE: GROSSER BELT 231101UVCMP MOORING ID: 231101 START-CYCLE: 1. STOP-CYCLE: 2233. NUMBER OF VALUES: 2233.

TIME RANGE: 2. 3.1978 18:20: 0: 0/10. 3.1978 12:20: 0: 0/ SAMPLING INTERVAL (MINUTES) : 0.500000\*01

VARIABLE	UNITS	MINIMUM	MAXIMUM	MEAN	STERMEAN	VARIANCE	STRDDEV	SKEWNESS	KURTOSIS
1 TEMP	[DEG-C ]	0.1364E+01	0.3742E+01	0.2432E+01	0.1152E-01	0.2961E+00	0.5442E+00	0.4255E+00	0.2244E+01
2 SAL	[PPM ]	0.1695E+02	0.2645E+02	0.2195E+02	0.4051E-01	0.3665E+01	0.1915E+01	0.1723E+00	0.2359E+01
3 UC	[CM/S ]	-0.2638E+02	0.3258E+02	-0.1143E+00	0.1776E+00	0.7043E+02	0.8392E+01	0.7287E+00	0.4054E+01
4 VC	[CM/S ]	-0.5286E+02	0.3989E+02	-0.1331E+02	0.3694E+00	0.3047E+03	0.1746E+02	0.3850E+00	0.2351E+01
5 SIGT	[ ]	0.1361E+02	0.2109E+02	0.1755E+02	0.3169E-01	0.2242E+01	0.1497E+01	0.1526E+00	0.2361E+01
PAIR	VECTOR-MEAN	VECTOR-VAR	STOVECMAN	VECMANERR	DIR-MEAN				
3 4	0.1331E+02	0.1876E+03	0.1370E+02	0.2698E+00	180.49				

FILE: GROSSER BELT 231102UVCMP MOORING ID: 231102 START-CYCLE: 1. STOP-CYCLE: 2233. NUMBER OF VALUES: 2233.

TIME RANGE: 2. 3.1978 18:20: 0: 0/10. 3.1978 12:20: 0: 0/ SAMPLING INTERVAL (MINUTES) : 0.500000\*01

VARIABLE	UNITS	MINIMUM	MAXIMUM	MEAN	STERMEAN	VARIANCE	STRDDEV	SKEWNESS	KURTOSIS
1 TEMP	[DEG-C ]	0.1733E+01	0.4208E+01	0.3030E+01	0.1101E-01	0.2708E+00	0.5204E+00	0.2292E+00	0.2266E+01
2 SAL	[PPM ]	0.1666E+02	0.2677E+02	0.2268E+02	0.3958E-01	0.3499E+01	0.1870E+01	-0.1711E+00	0.2793E+01
3 SIGT	[ ]	0.1337E+02	0.2127E+02	0.1811E+02	0.3081E-01	0.2119E+01	0.1456E+01	-0.1968E+00	0.2820E+01

FILE: GROSSER BELT 231102UVCMP MOORING ID: 231102 START-CYCLE: 1. STOP-CYCLE: 68. NUMBER OF VALUES: 68.

TIME RANGE: 2. 3.1978 18:20: 0: 0/ 2. 3.1978 23:55: 0: 0/ SAMPLING INTERVAL (MINUTES) : 0.500000\*01

VARIABLE	UNITS	MINIMUM	MAXIMUM	MEAN	STERMEAN	VARIANCE	STRDDEV	SKEWNESS	KURTOSIS
1 UC	[CM/S ]	-0.5604E+01	0.2319E+01	-0.1843E+01	0.2880E+00	0.5641E+01	0.2375E+01	0.4524E+00	0.1852E+01
2 VC	[CM/S ]	-0.9126E+01	-0.4632E+01	-0.7376E+01	0.1152E+00	0.9021E+00	0.9498E+00	0.9817E+00	0.4188E+01
PAIR	VECTOR-MEAN	VECTOR-VAR	STOVECMAN	VECMANERR	DIR-MEAN				
1 2	0.7603E+01	0.3271E+01	0.1809E+01	0.2193E+00	194.03				

Tabelle 2 a: Statistische Parameter der Verankerung 2311 "Großer Belt" (20 m und 22 m Tiefe)  
Das untere Messgerät lieferte nur über wenige Stunden Geschwindigkeitswerte.

FILE: LANGZEIT 222501UVCMP MOORING ID: 222501 START-CYCLE: 1. STOP-CYCLE: 2242. NUMBER OF VALUES: 2242.

TIME RANGE: 2. 3.1978 16: 0: 0: 0/10. 3.1978 10:45: 0: 0/ SAMPLING INTERVAL (MINUTES) : 0.500000+01

VARIABLE	UNITS	MINIMUM	MAXIMUM	MEAN	STERMEAN	VARIANCE	STRDDEV	SKEWNESS	KURTOSIS
1 TEMP	[DEG.C ]	0.1607E+01	0.3098E+01	0.2352E+01	0.9053E-02	0.1837E+00	0.4286E+00	-0.2758E+00	0.1754E+01
2 SAL	[PPM ]	0.1907E+02	0.2399E+02	0.2160E+02	0.2739E-01	0.1682E+01	0.1297E+01	-0.2355E+00	0.1903E+01
3 UC	[CM/S ]	-0.5320E+02	0.2079E+01	-0.1934E+02	0.2384E+00	0.1274E+03	0.1129E+02	-0.3554E+00	0.2633E+01
4 VC	[CM/S ]	-0.2603E+01	0.3802E+02	0.1844E+02	0.2253E+00	0.1138E+03	0.1067E+02	-0.3380E+00	0.1830E+01
5 SIGT	[ ]	0.1529E+02	0.1915E+02	0.1728E+02	0.2143E-01	0.1029E+01	0.1016E+01	-0.2434E+00	0.1911E+01

PAIR VECTOR-MEAN VECTOR-VAR STOVECMAN VECMEANRR DIR-MEAN

3 4 0.2672E+02 0.1206E+03 0.1098E+02 0.2319E+00 313.63

FILE: LANGZEIT 222502UVCMP MOORING ID: 222502 START-CYCLE: 1. STOP-CYCLE: 2242. NUMBER OF VALUES: 2242.

TIME RANGE: 2. 3.1978 16: 0: 0: 0/10. 3.1978 10:45: 0: 0/ SAMPLING INTERVAL (MINUTES) : 0.500000+01

VARIABLE	UNITS	MINIMUM	MAXIMUM	MEAN	STERMEAN	VARIANCE	STRDDEV	SKEWNESS	KURTOSIS
1 TEMP	[DEG.C ]	0.1846E+01	0.3555E+01	0.2714E+01	0.9788E-02	0.2148E+00	0.4635E+00	-0.4181E+00	0.1968E+01
2 SAL	[PPM ]	0.1875E+02	0.2451E+02	0.2197E+02	0.2917E-01	0.1908E+01	0.1381E+01	-0.6683E+00	0.2774E+01
3 UC	[CM/S ]	-0.4193E+02	0.2982E-01	-0.9404E+01	0.1682E+00	0.8344E+02	0.7966E+01	-0.1426E+01	0.5348E+01
4 VC	[CM/S ]	0.1156E-04	0.4347E+02	0.1321E+02	0.1906E+00	0.8145E+02	0.9025E+01	0.1058E+01	0.4164E+01
5 SIGT	[ ]	0.1501E+02	0.1953E+02	0.1756E+02	0.2274E-01	0.1159E+01	0.1077E+01	-0.6835E+00	0.2806E+01

PAIR VECTOR-MEAN VECTOR-VAR STOVECMAN VECMEANRR DIR-MEAN

3 4 0.1621E+02 0.7245E+02 0.8612E+01 0.1798E+00 324.55

Tabelle 2 b: Statistische Parameter der Verankerung 2225 "Langzeit" (22 m und 25 m Tiefe)  
Die Messgeräte lagen auf der Position der SFB-Langzeitmessungen  
(Vgl. Hatje 1976,1977 und Wittstock u. Mitarb. 1978)

FILE: SUEDHANG 233101UVCHP MOORING ID: 233101 START-CYCLE: 1. STOP-CYCLE: 2241. NUMBER OF VALUES: 2241.

TIME RANGE: 2. 3.1978 16:40: 0: 0/10. 3.1978 11:20: 0: 0/ SAMPLING INTERVAL (MINUTES) : 0.500000+01

VARIABLE	UNITS	MINIMUM	MAXIMUM	MEAN	STERMEAN	VARIANCE	STRODEV	SKEWNESS	KURTOSIS
1	TEMP	0.1149E+01	0.2161E+01	0.1633E+01	0.3861E-02	0.3340E-01	0.1828E+00	0.4029E+00	0.3213E+01
2	SAL	0.1682E+02	0.1916E+02	0.1827E+02	0.8468E-02	0.1607E+00	0.4009E+00	-0.7096E+00	0.2588E+01
3	UC	-0.1542E+02	0.2110E+02	0.8250E+00	0.1143E+00	0.2928E+02	0.5411E+01	0.6080E+00	0.4971E+01
4	VC	-0.1174E+02	0.3378E+02	0.8706E+01	0.1584E+00	0.5620E+02	0.7497E+01	0.1723E+00	0.2643E+01
5	STGT	0.1350E+02	0.1535E+02	0.1466E+02	0.6703E-02	0.1007E+00	0.3173E+00	-0.7103E+00	0.2586E+01

PAIR VECTOR-MEAN VECTOR-VAR STOVECMAN VECMEANERR DIR-MEAN

3 4 0.8745E+01 0.4274E+02 0.6538E+01 0.1381E+00 5.41

FILE: SUEDHANG 233102UVCHP MOORING ID: 233102 START-CYCLE: 1. STOP-CYCLE: 2241. NUMBER OF VALUES: 2241.

TIME RANGE: 2. 3.1978 16:40: 0: 0/10. 3.1978 11:20: 0: 0/ SAMPLING INTERVAL (MINUTES) : 0.500000+01

VARIABLE	UNITS	MINIMUM	MAXIMUM	MEAN	STERMEAN	VARIANCE	STRODEV	SKEWNESS	KURTOSIS
1	TEMP	0.1576E+01	0.2633E+01	0.1926E+01	0.5823E-02	0.7598E-01	0.2756E+00	0.9087E+00	0.2401E+01
2	SAL	0.1787E+02	0.2104E+02	0.1886E+02	0.1495E-01	0.5009E+00	0.7078E+00	0.1285E+01	0.3639E+01
3	UC	-0.1883E+02	0.1044E+02	-0.3194E+01	0.1220E+00	0.3334E+02	0.5774E+01	-0.3311E+00	0.2268E+01
4	VC	-0.6662E+01	0.1881E+02	0.5023E+01	0.1035E+00	0.2403E+02	0.4902E+01	0.2419E+00	0.2527E+01
5	STGT	0.1433E+02	0.1683E+02	0.1512E+02	0.1174E-01	0.3088E+00	0.5557E+00	0.1284E+01	0.3635E+01

PAIR VECTOR-MEAN VECTOR-VAR STOVECMAN VECMEANERR DIR-MEAN

3 4 0.5953E+01 0.2868E+02 0.5356E+01 0.1131E+00 327.55

Tabelle 2 c: Statistische Parameter der Verankerung 2331 "Südhang" (16 m und 18 m Tiefe)  
Die Messgeräte lagen 3 km südwestlich von der Station "Langzeit".

Tabelle 3: Kinetische Energie der langperiodischen Vorgänge in der ersten und zweiten Hälfte der Messungen in  $\text{cm}^2/\text{sec}^2$

		$M_2$ -Gezeit	Trägheits- periode	Reststrom
<u>Großer Belt</u>				
2311	1. Hälfte	437.96	6.86	231.04
20 m				
	2. Hälfte	302.58	52.32	163.08
<u>Langzeit</u>				
2225	1. Hälfte	3.52	4.84	268.30
22 m				
	2. Hälfte	22.68	2.68	1313.34
	1. Hälfte	4.72	4.00	130.88
25 m				
	2. Hälfte	17.64	1.38	431.80
<u>Südhang</u>				
2331	1. Hälfte	36.14	15.38	22.38
16 m				
	2. Hälfte	1.90	2.56	184.68
	1. Hälfte	8.80	1.74	2.04
18 m				
	2. Hälfte	10.42	3.14	121.66

Horizontale kinetische Energie in  $\text{cm}^2/\text{sec}^2$  in ausgewählten Perioden, berechnet aus Messungen mit verankerten Strommessern in der nord-östlichen Kieler Bucht (vgl. Abb. 2). Die Meßreihen mußten aus programmtechnischen Gründen in zwei Teile zerlegt werden.



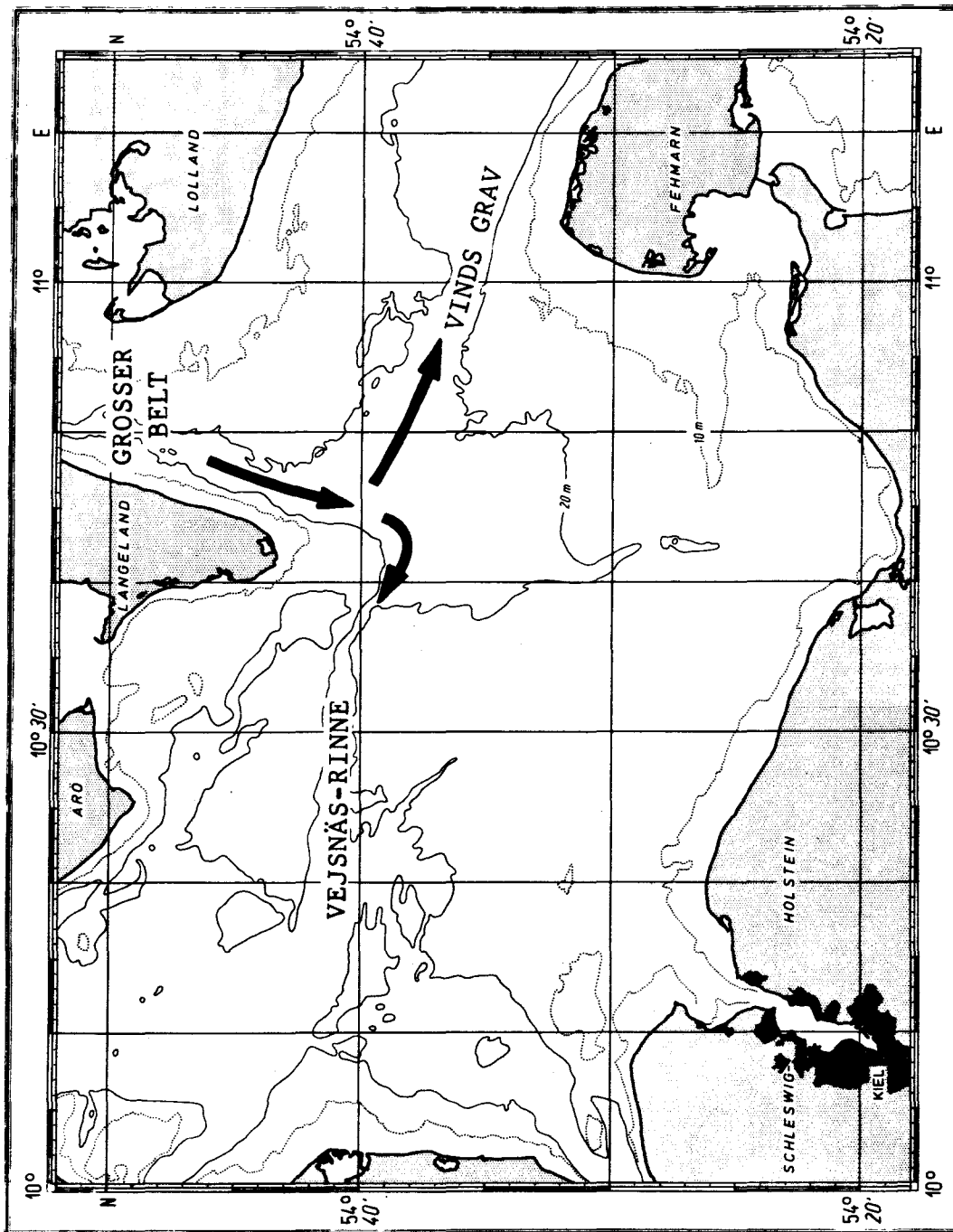


Abb. 1: Prinzipskizze der Verzweigung der Bodenströmung aus dem Großen Belt in die Vejsnäsrinne und ins Vindsgrav



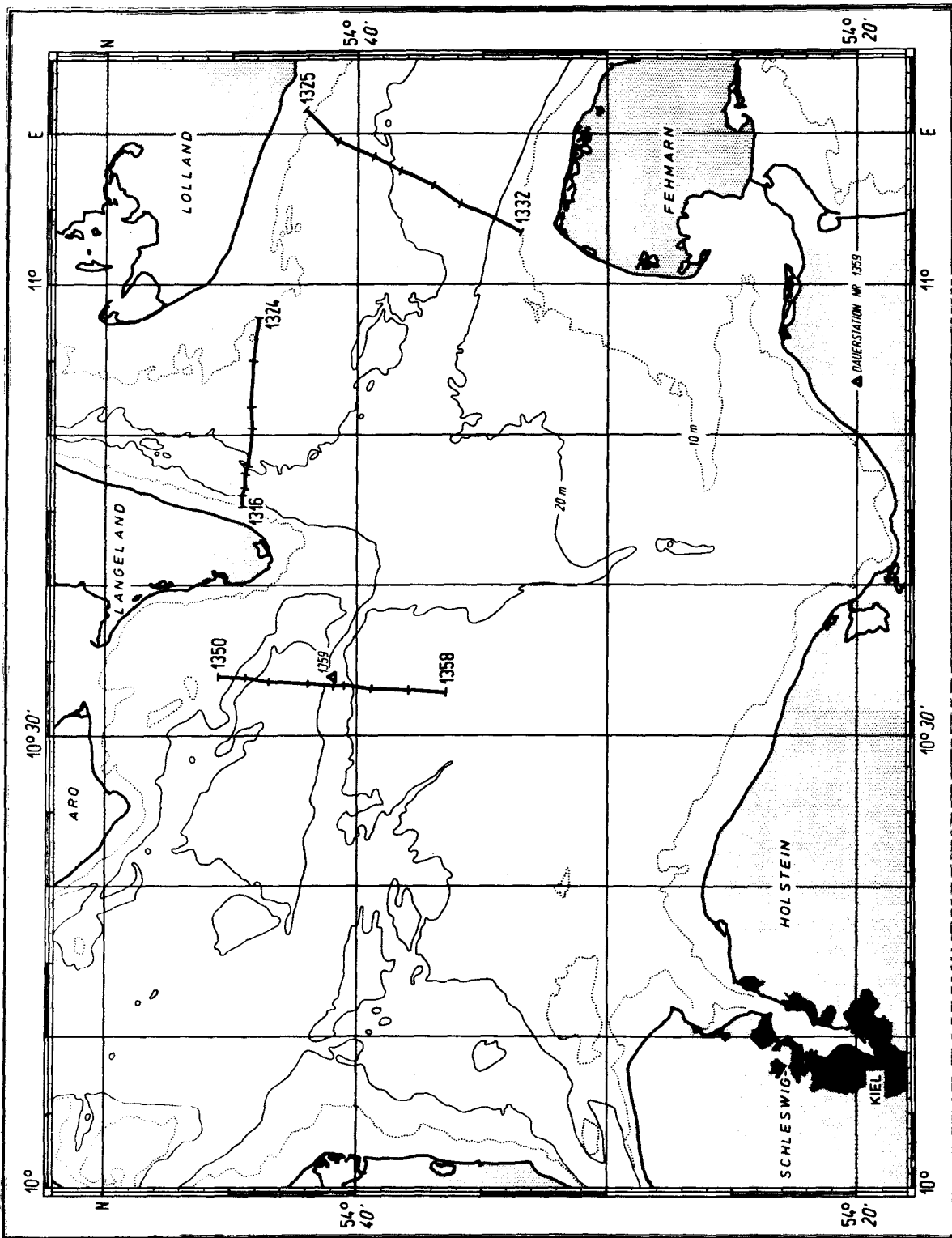
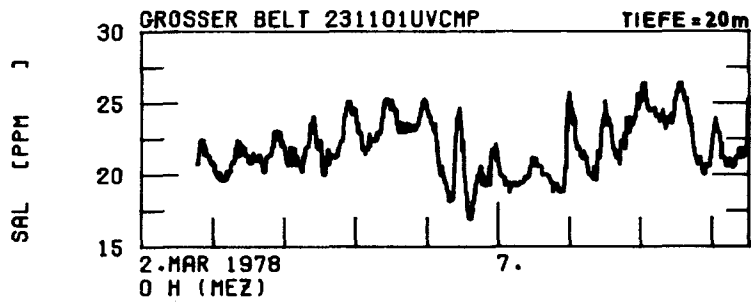
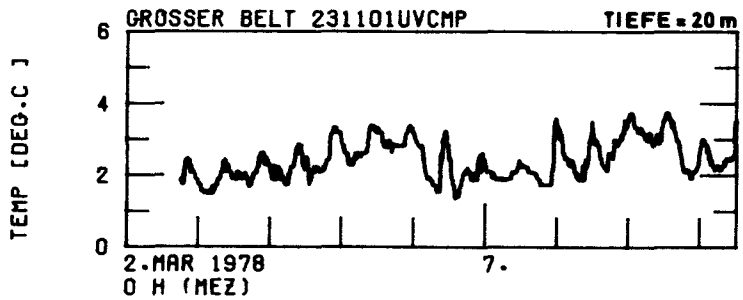
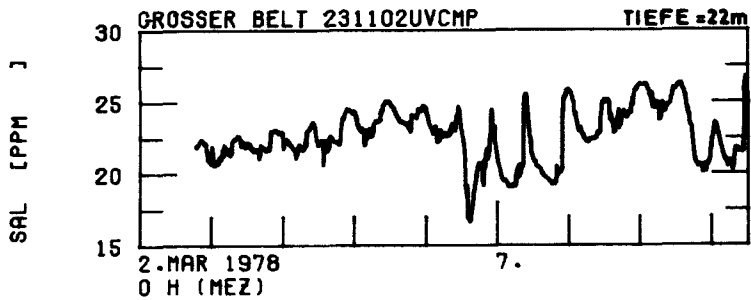


Abb. 3): Lage der hydrographischen Schnitte vom 30. März bis zum 3. April 1978



a)



b)

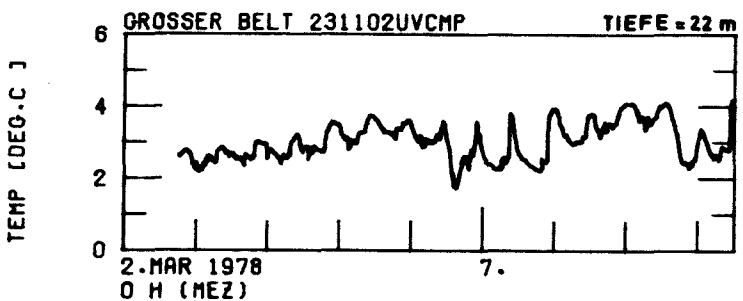


Abb. 4: Aufzeichnung der Verankerung Nr. 2311 am Südausgang des Großen Belt ( $\varphi = 54^{\circ}40,5'N$ ,  $\lambda = 10^{\circ}44,5'E$ )  
Wassertiefe: 24m, Gerätetiefen: 20 m und 22 m  
Meßzeit: Vom 2.3.1840h bis zum 10.3.1245h

a) berechneter Salzgehalt

b) Temperatur

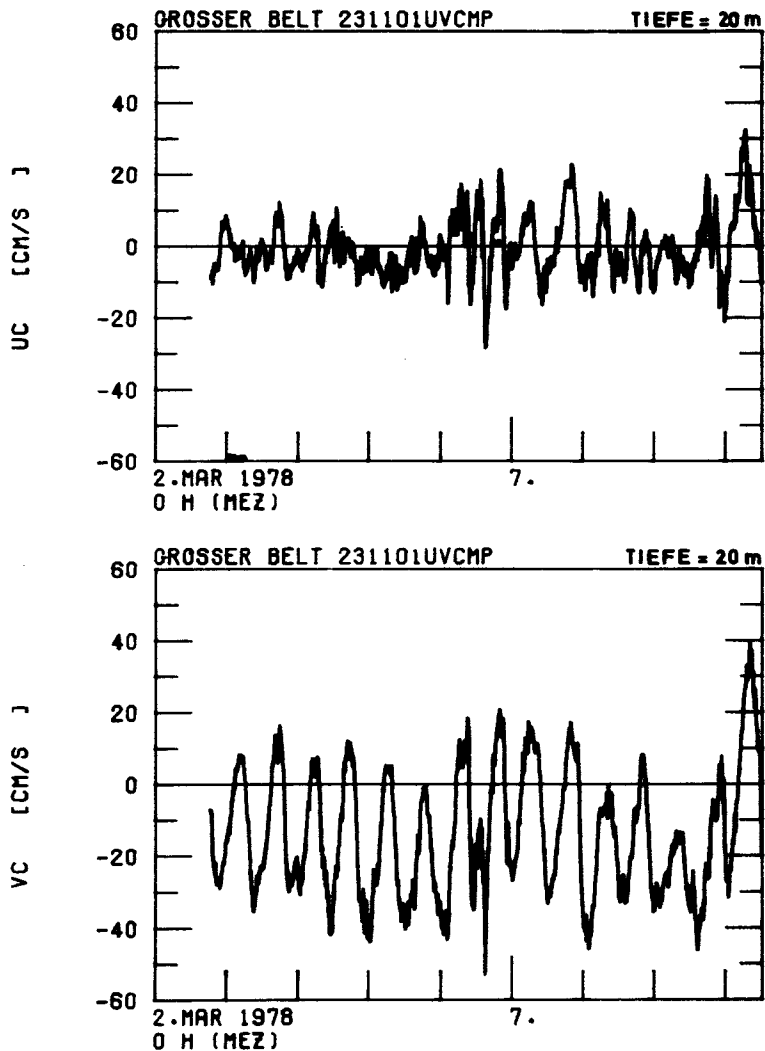


Abb. 4 c): Ost-West-Komponente (UC) und Nord-Süd-Komponente (VC) der Strömung

Graphische Darstellungen von c) und d) liegen nur für das Meßniveau 20 m vor, da nach ca. 5,5 Stunden die Strömungsaufzeichnung in 24 m Tiefe ausfiel.

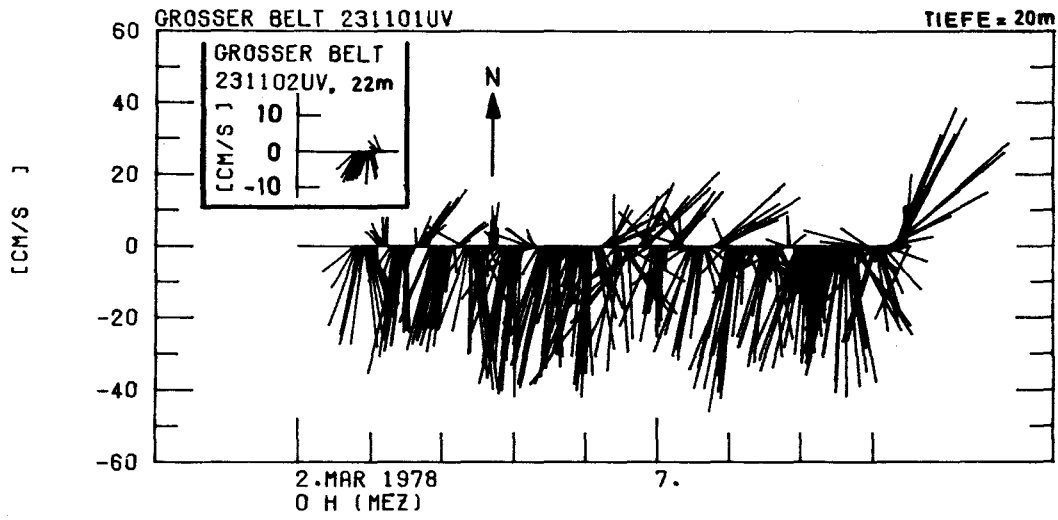
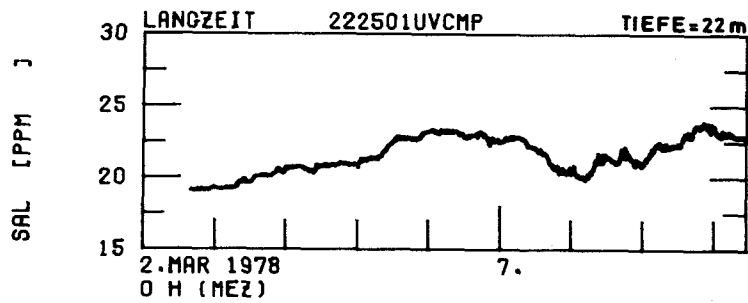
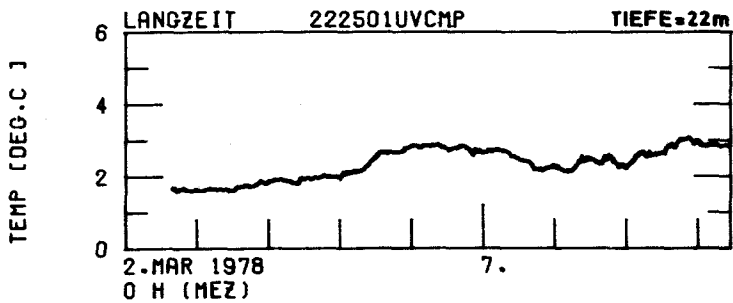
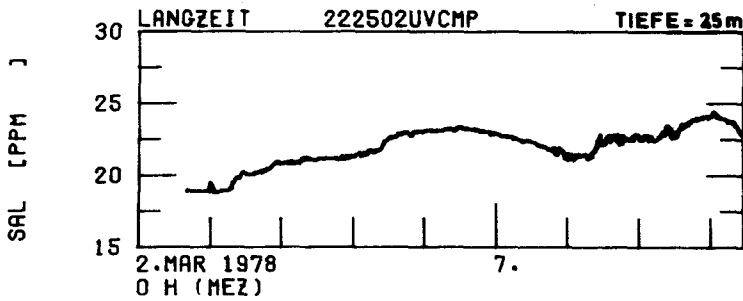


Abb. 4 d): Zeitfolge von Strömungsvektoren



a)



b)

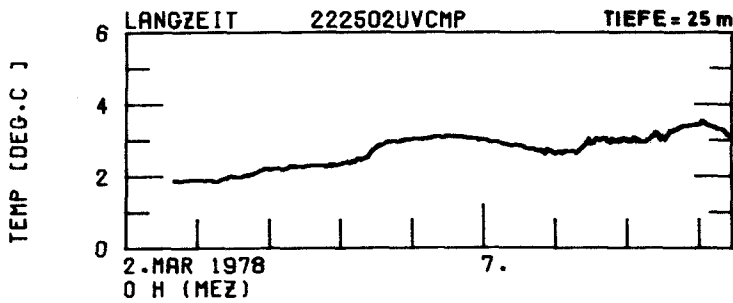


Abb. 5: Aufzeichnung der Verankerung Nr. 2225 am Ort der SFB-Langzeitmessungen ( $\varphi = 54^{\circ} 40,6' N$ ,  $\lambda = 10^{\circ} 35,9' E$ )  
Wassertiefe: 30 m, Gerätetiefen: 22 m und 25 m  
Meßzeit: Vom 2.3.1600h bis zum 10.3.1050h

- a) berechneter Salzgehalt
- b) Temperatur

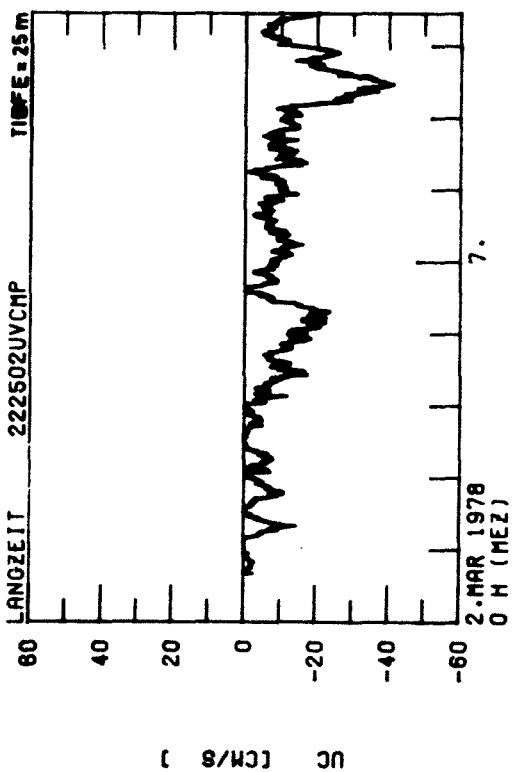
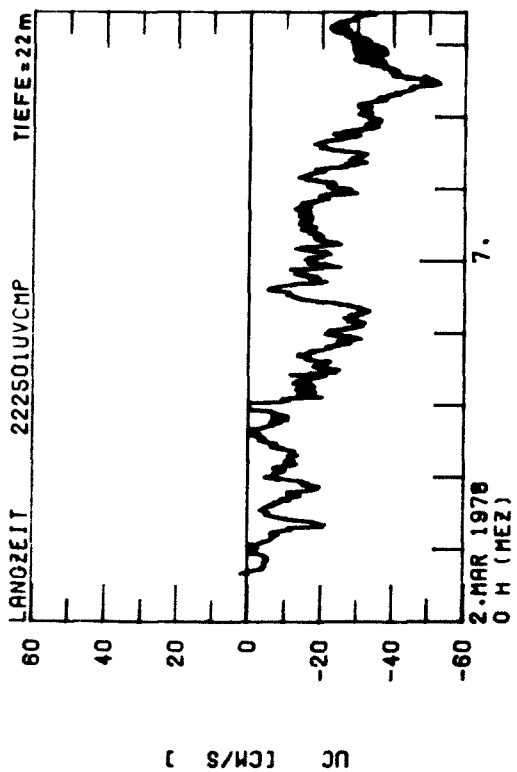
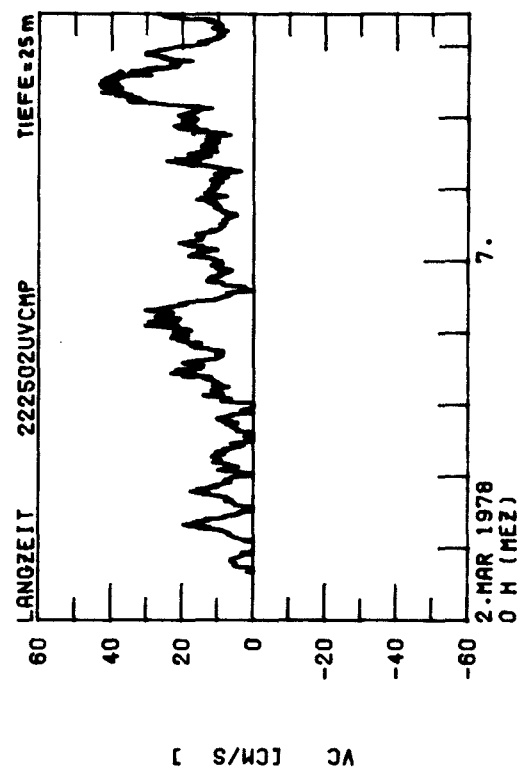
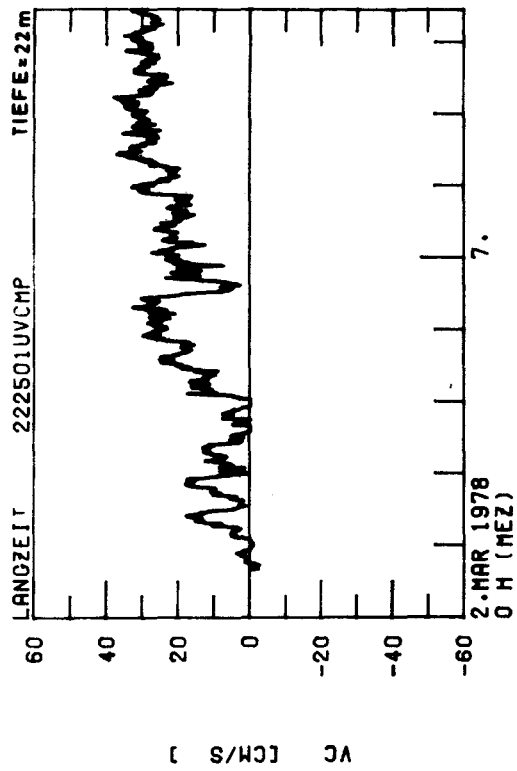


Abb. 5 c): Ost-West-Komponente (UC) und Nord-Süd-Komponente (VC) der Strömung



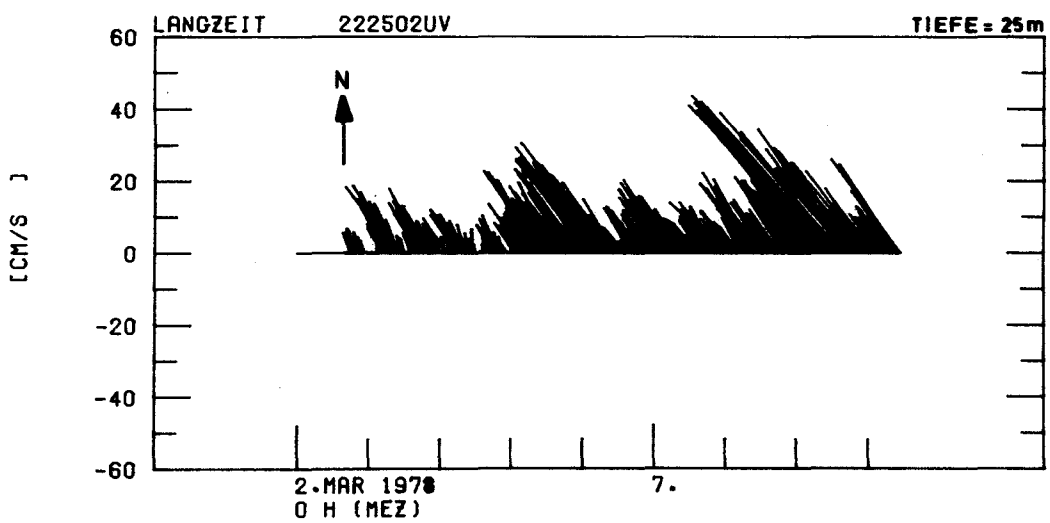
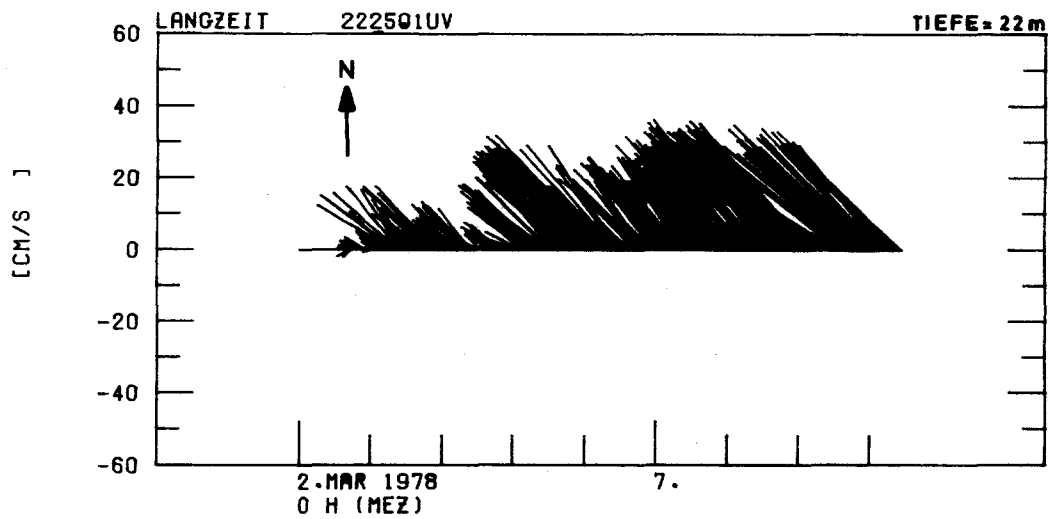
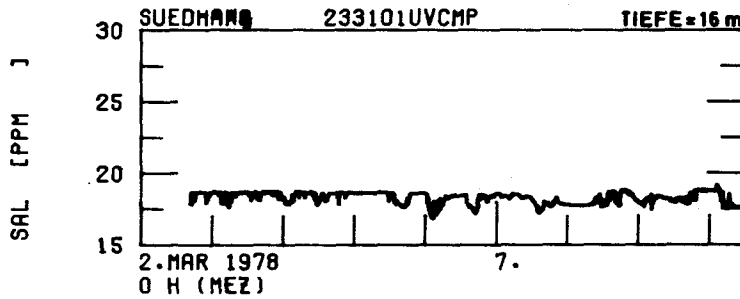
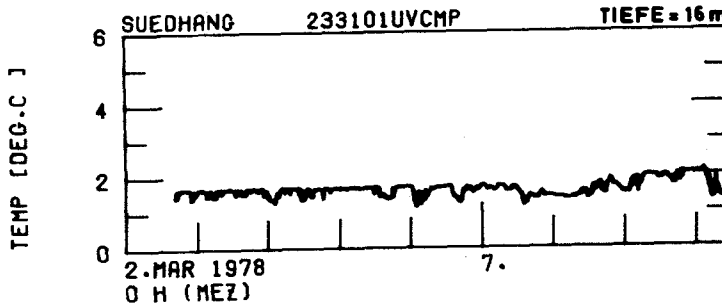
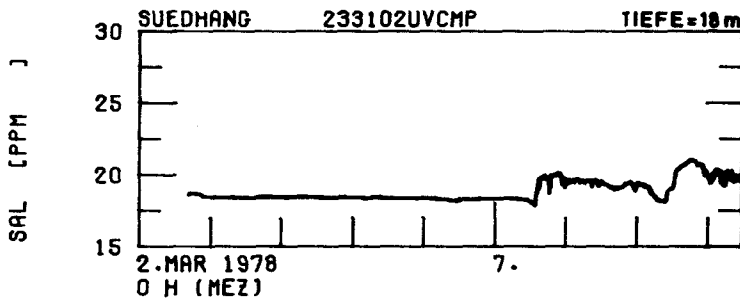


Abb. 5

d) Zeitfolge von Strömungsvektoren



a)



b)

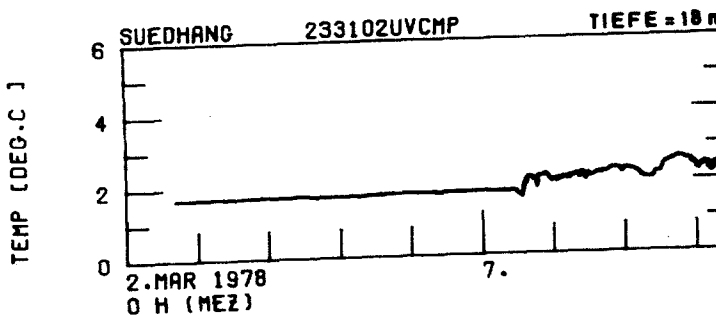


Abb. 6: Aufzeichnung der Verankerung Nr. 2331 am Südhang der Vejsnäsrinne ( $\varphi = 54^{\circ}38,9'N$ ,  $\lambda = 10^{\circ}34,1'E$ )  
Wassertiefe: 20 m, Gerätetiefen: 16 m und 18 m  
Meßzeit: Vom 2.3.1640h bis zum 10.3.1125h

- a) berechneter Salzgehalt
- b) Temperatur

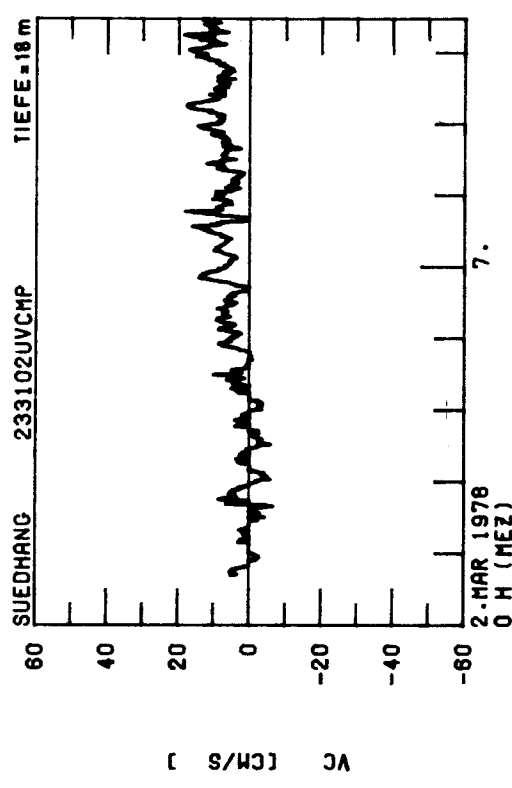
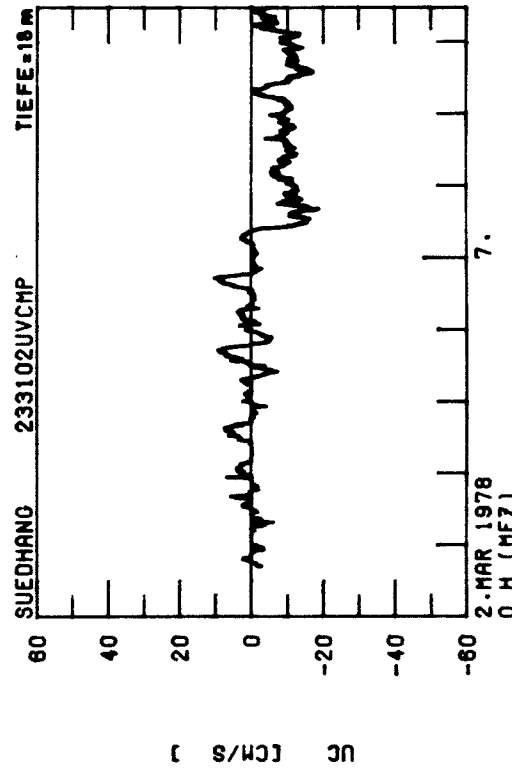
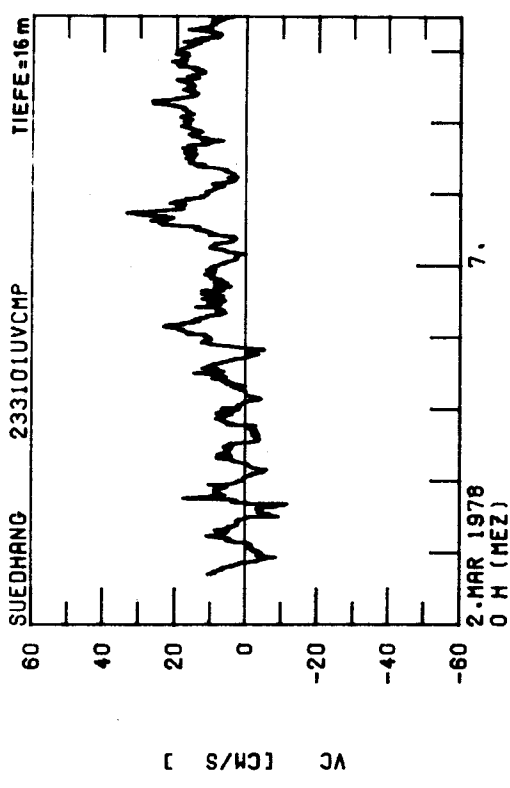
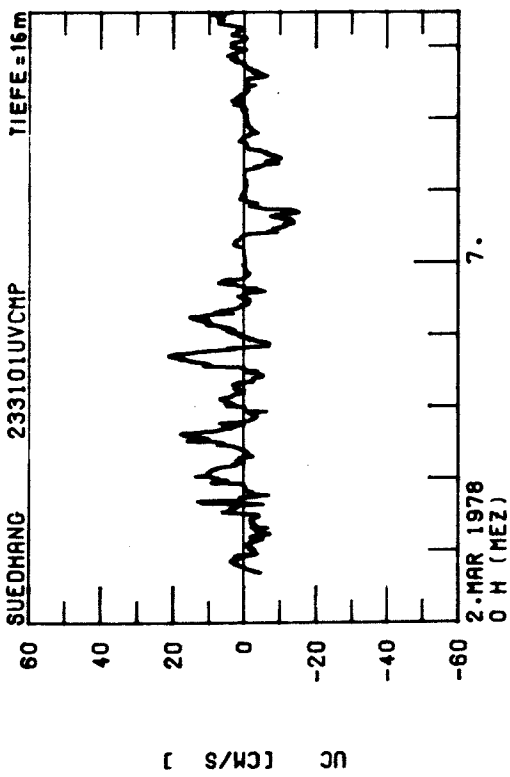


Abb. 6 c): Ost-West-Komponente (UC) und Nord-Süd-Komponente (VC) der Strömung

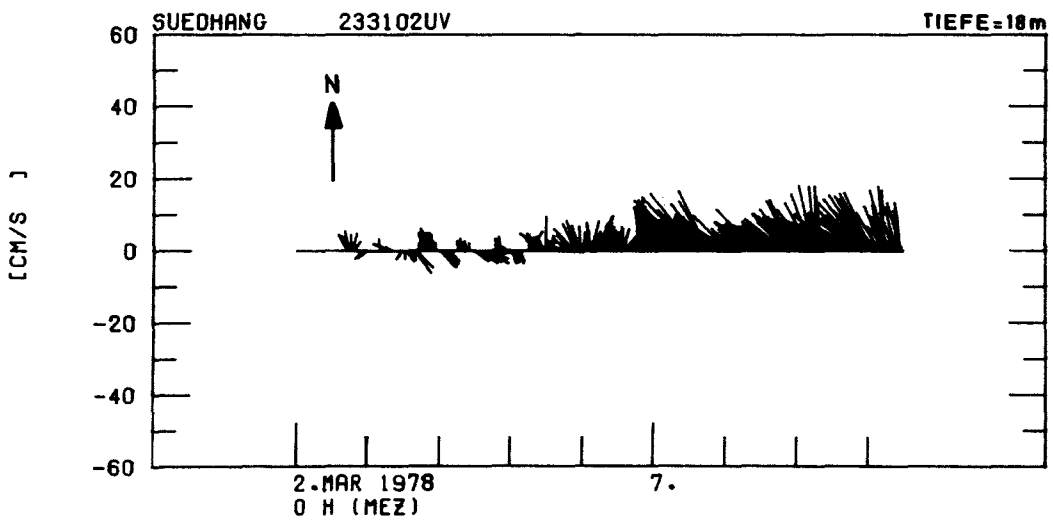
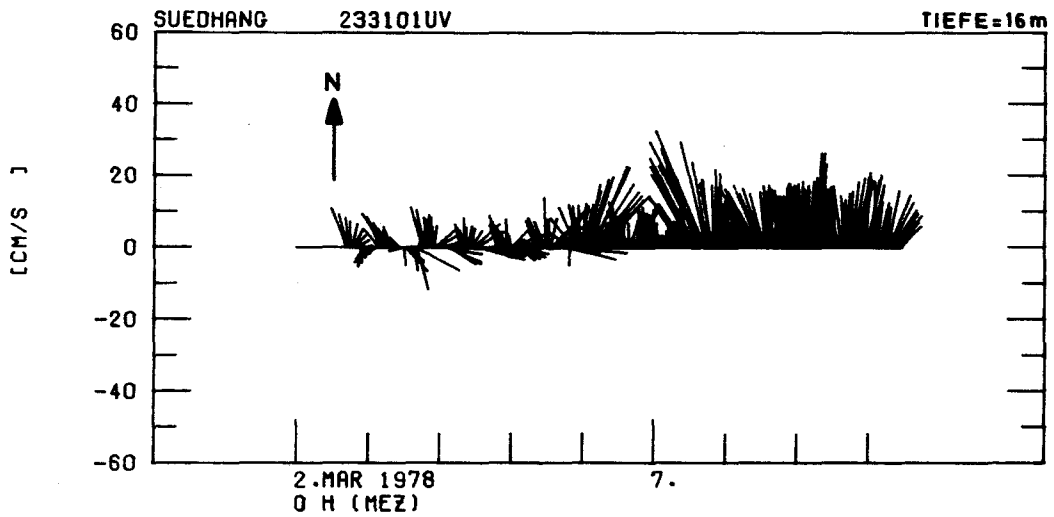
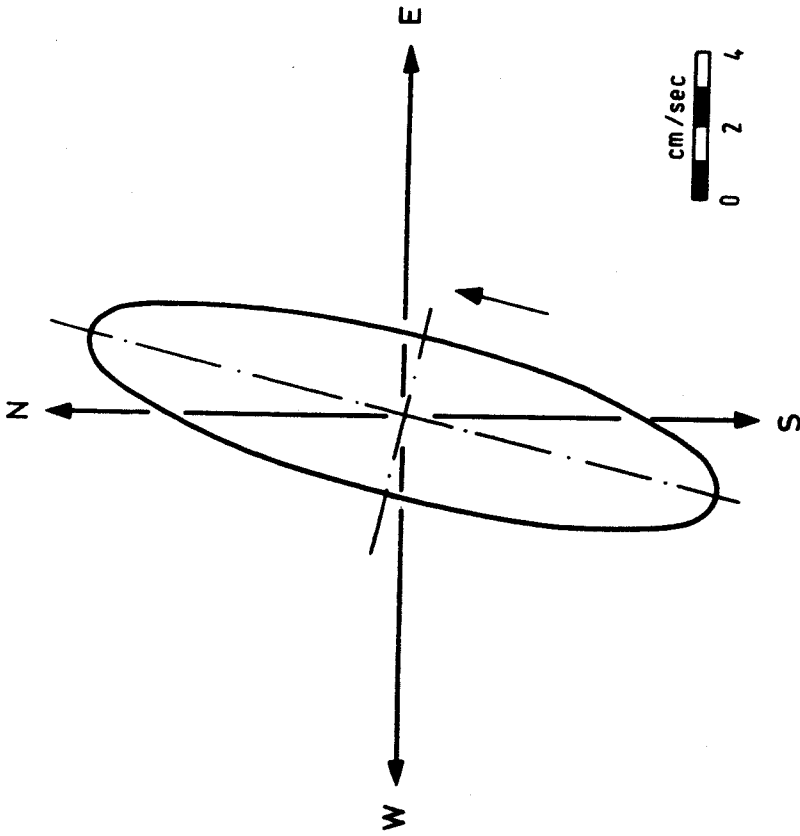


Abb. 6 d): Zeitfolge von Strömungsvektoren



Reststrom: 13.68 cm/sec in 179° S

Abb. 7: Gezeitenstromellipse am Südausgang des Großen Belt in 20 m Tiefe (231101)

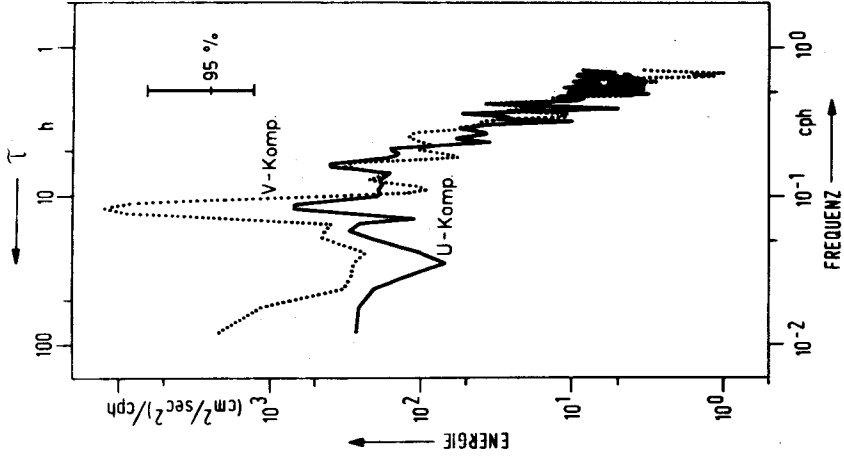


Abb. 8: Spektrum der horizontalen kinetischen Energiedichte der Verankerung "Großer Belt" in 20 m Tiefe (231101)

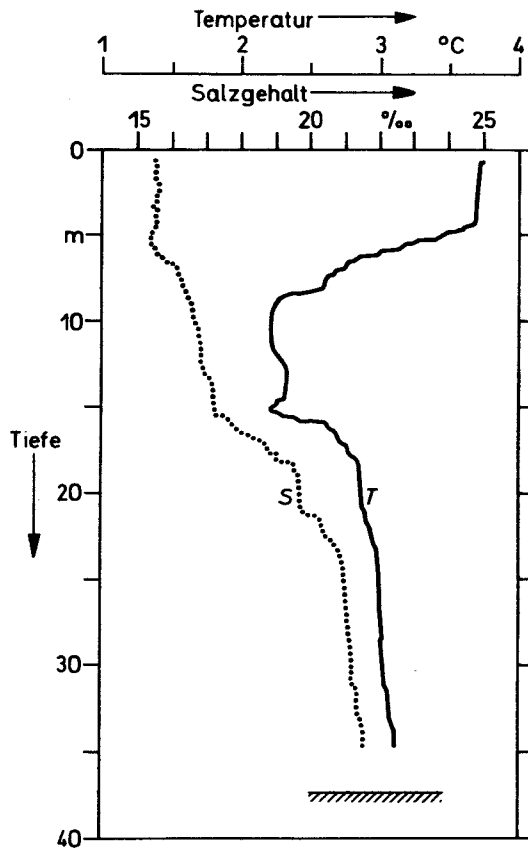


Abb. 9: Typische Profile von Temperatur und Salzgehalt,  
aufgenommen in der Marstalrinne am 1.4.78  
(  $\varphi = 54^{\circ} 45,1' N$ ,  $\lambda = 10^{\circ} 30,5' E$  )

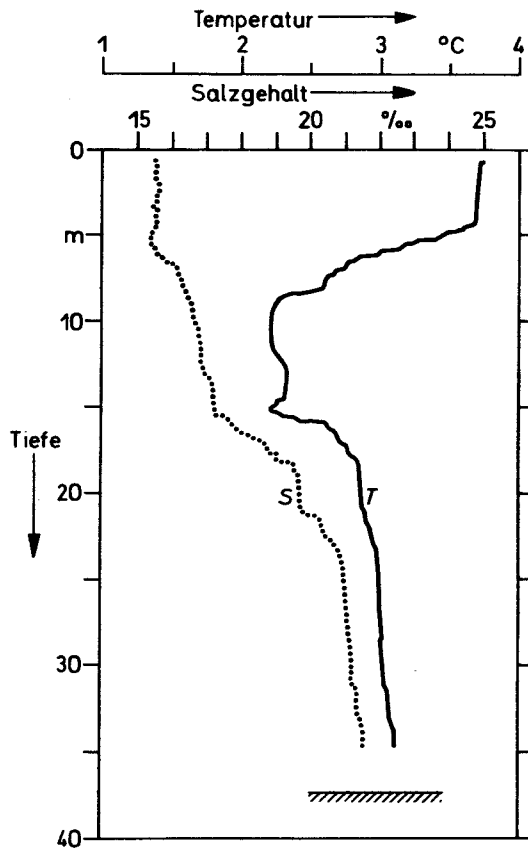


Abb. 9: Typische Profile von Temperatur und Salzgehalt,  
aufgenommen in der Marstalrinne am 1.4.78  
(  $\varphi = 54^{\circ} 45,1' N$ ,  $\lambda = 10^{\circ} 30,5' E$  )

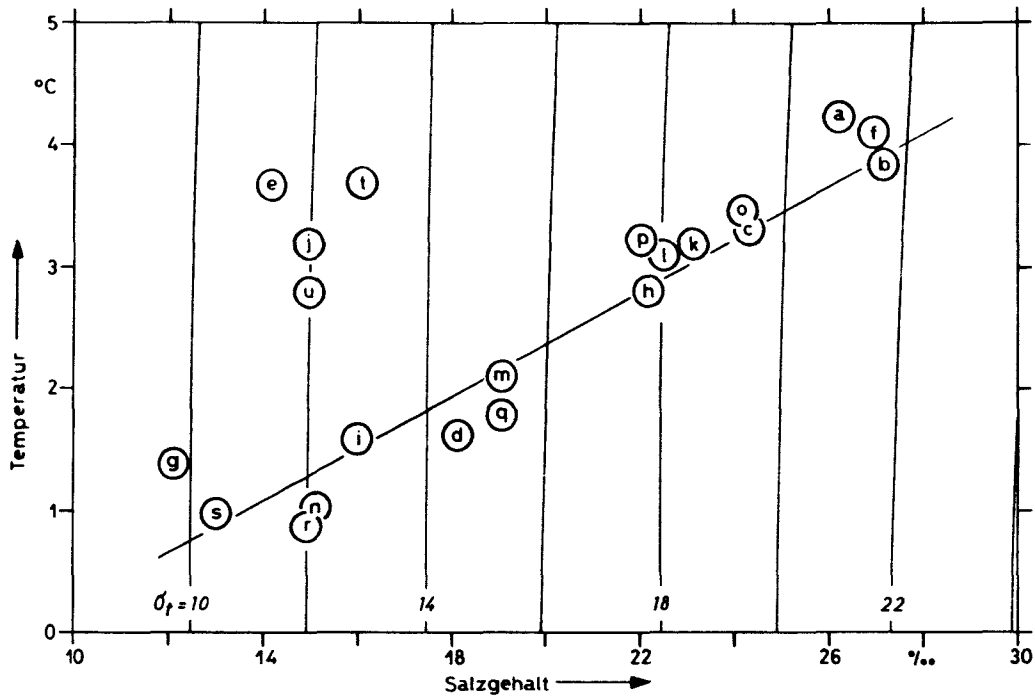


Abb. 10: Temperatur-/Salzgehaltsdiagramm für die nördliche Kieler Bucht im März 1978. Die eingetragenen charakteristischen Punkte sind den Multisondenschnitten wie folgt entnommen:

- a) Großer Belt, 27 m (Abb. 12)
- b) Großer Belt, 27 m (Abb. 13)
- c) Großer Belt, 23 m (Abb. 12)
- d) Großer Belt, 5 m (Abb. 13)
- e) Großer Belt, 2 m (Abb. 14)
- f) Großer Belt, 28 m (Abb. 14)
- g) Großer Belt, 2 m (Abb. 12)
- h) Vinds Grav, 9 - 27 m (Abb. 15, Abb. 17)
- i) Vinds Grav, 2 m (Abb. 15)
- j) Vinds Grav, 8 m (Abb. 19)
- k) Vinds Grav, 14 m (Abb. 16)  
und Vejsnäsrinne, 27 m (Abb. 27)
- l) Vinds Grav, 25 m (Abb. 19)
- m) Kleiner Belt, 26 m (Abb. 20)
- n) Kleiner Belt, 4 m (Abb. 20)
- o) Großer Belt, 28 m (Abb. 21)
- p) Vejsnäsrinne, 25 m (Abb. 28)
- q) Vejsnäsrinne, 20 - 25 m (Abb. 21, Abb. 22, Abb. 27)
- r) Vejsnäsrinne, 5 - 11 m (Abb. 21, Abb. 22, Abb. 24)
- s) Vejsnäsrinne, 13 m (Abb. 23)
- t) Vejsnäsrinne, 5 m (Abb. 28)
- u) Vejsnäsrinne, 25 m (Abb. 23)

Die Kennungsbuchstaben werden in den Schnitten der Temperatur und des Salzgehaltes wiederholt.



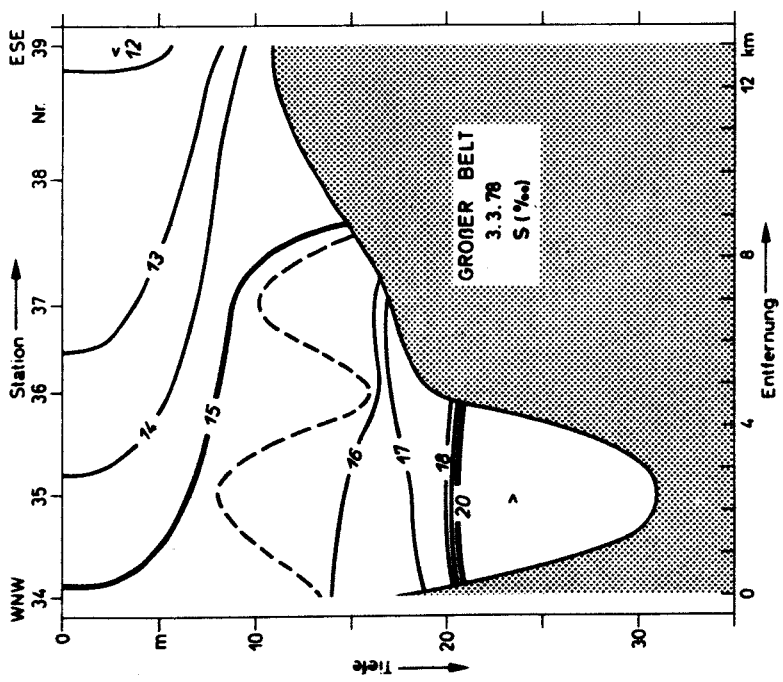
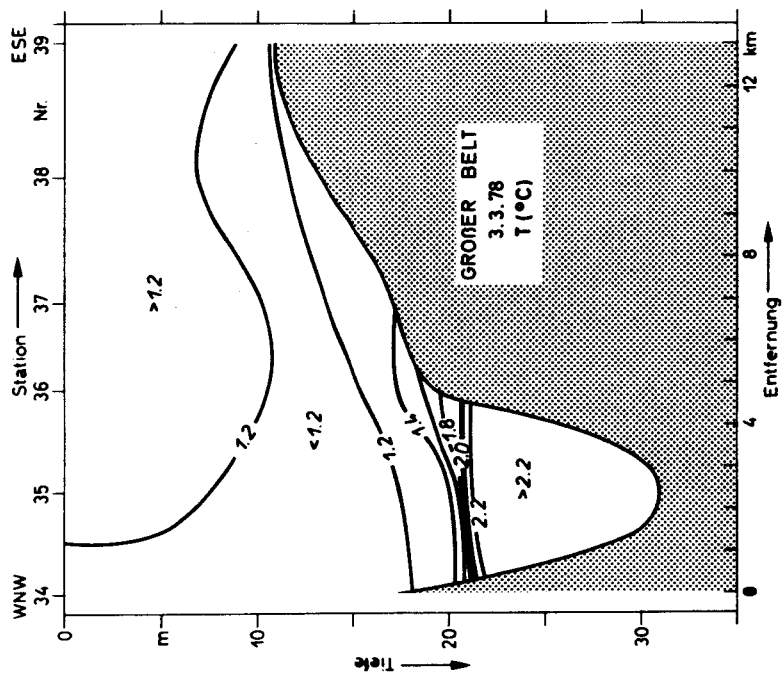


Abb. 11: Hydrographischer Schnitt über den Großen Belt am 3.3. 78.  
 Die Ausstromlage aus der Kieler Bucht (S < 15‰) ist deutlich erkennbar.  
 Oberhalb 15 m ist das Wasser fast homotherm.

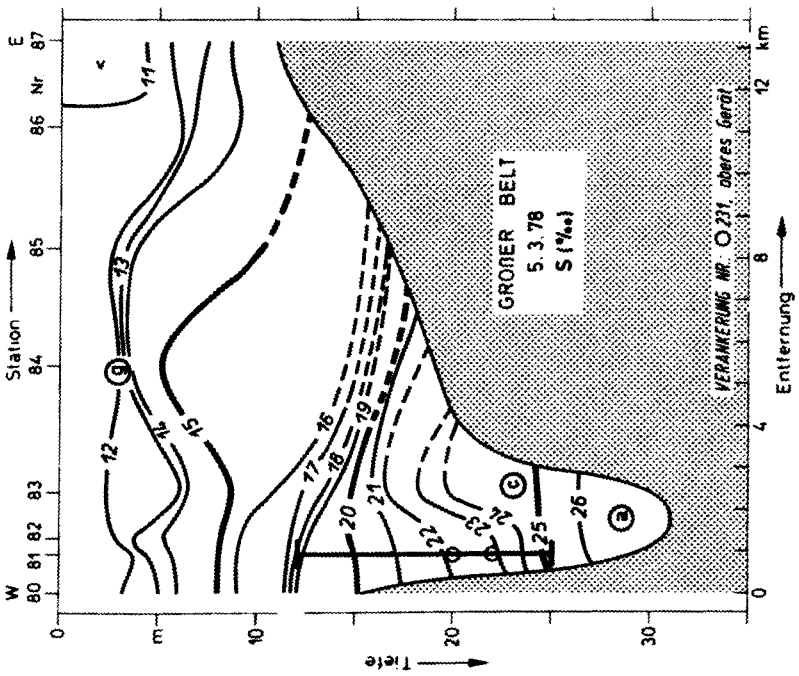
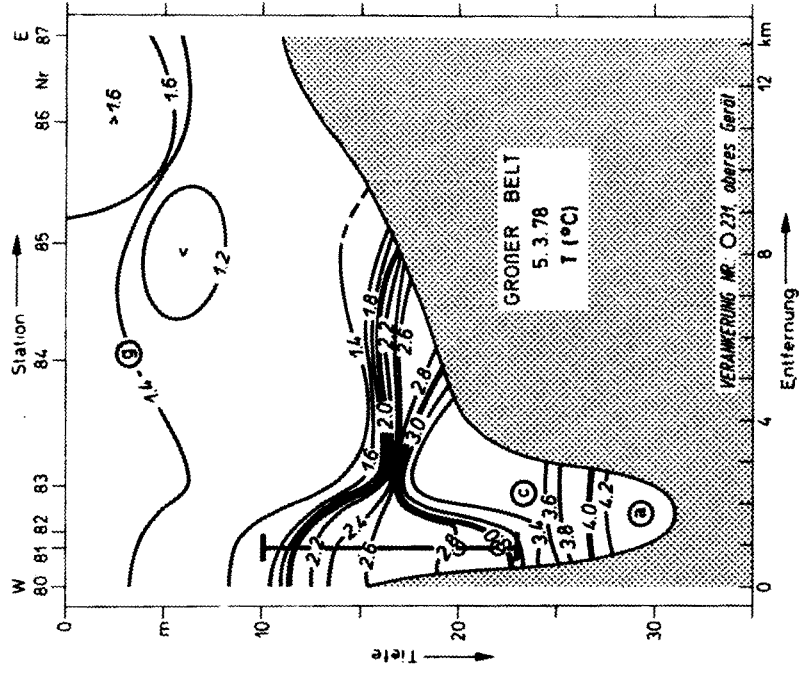


Abb. 12: Wiederholung des Schnittes in Abb. 11 nach 43 Std. Die Schwankungsbreiten der Salzgehaltsregistrierungen des Strömungsmessers 231101 sind in Tiefenvariationen umgesetzt worden. Sie sollen auf mögliche synoptische Fehler aufmerksam machen. Der Schnitt wurde innerhalb von 2 Stunden aufgenommen.

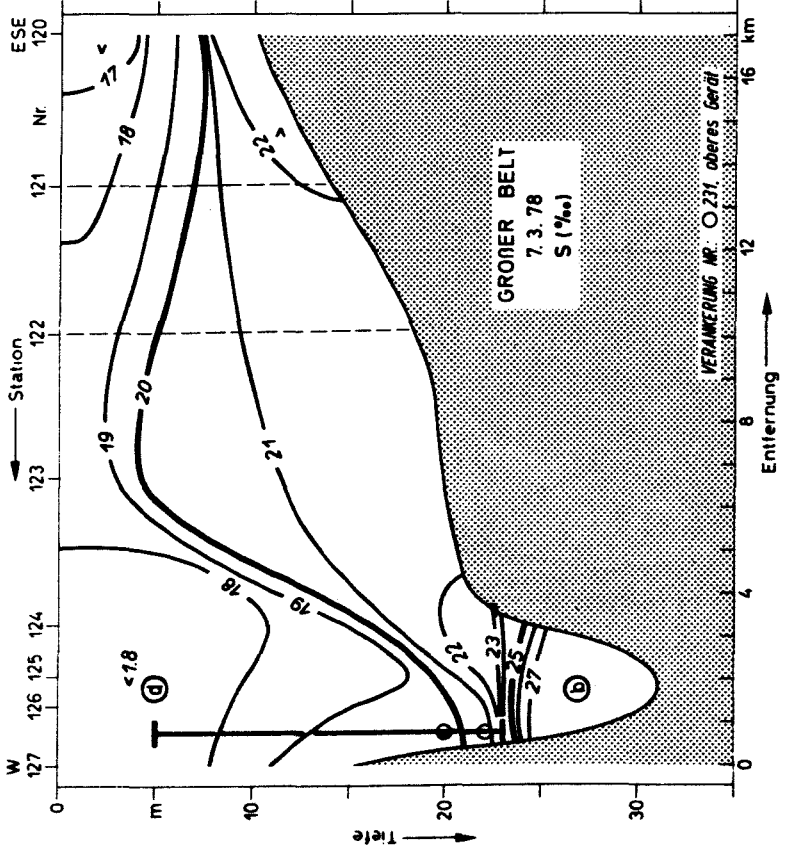
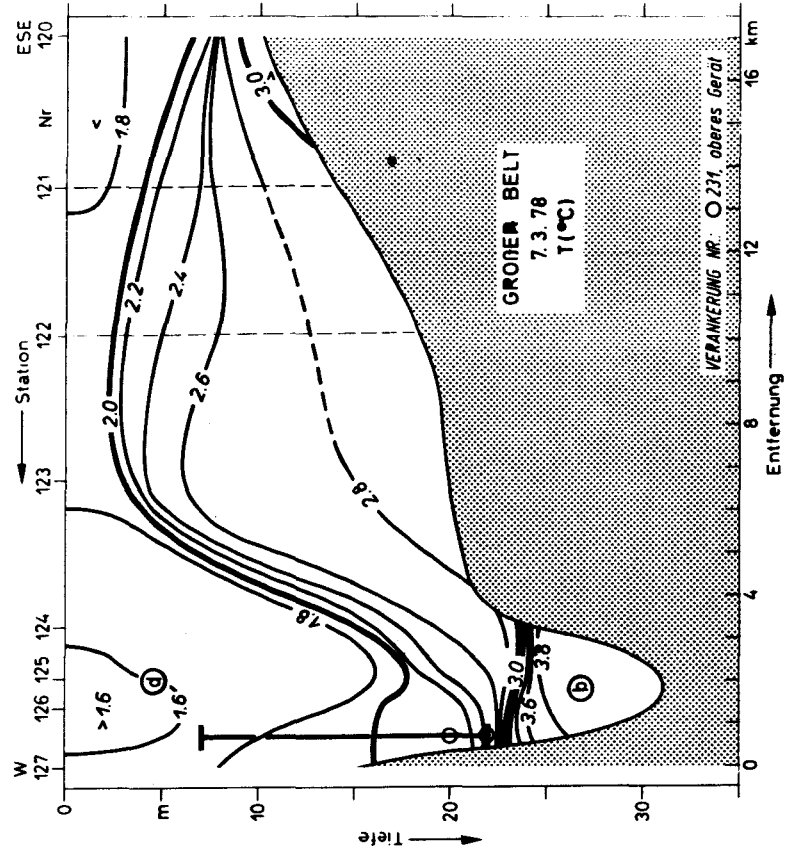


Abb. 13: Wiederholung des Schnittes in Abb. 11 und Abb. 12 nach 84 Std., bzw. nach 41 Std. Die Ausstromlage an der Oberfläche von 3.3. (Abb. 11) hat sich zu einer klaren Einstromlage umgekehrt. Die Oberflächentemperaturen sind um weitere 0.2 °C gestiegen.

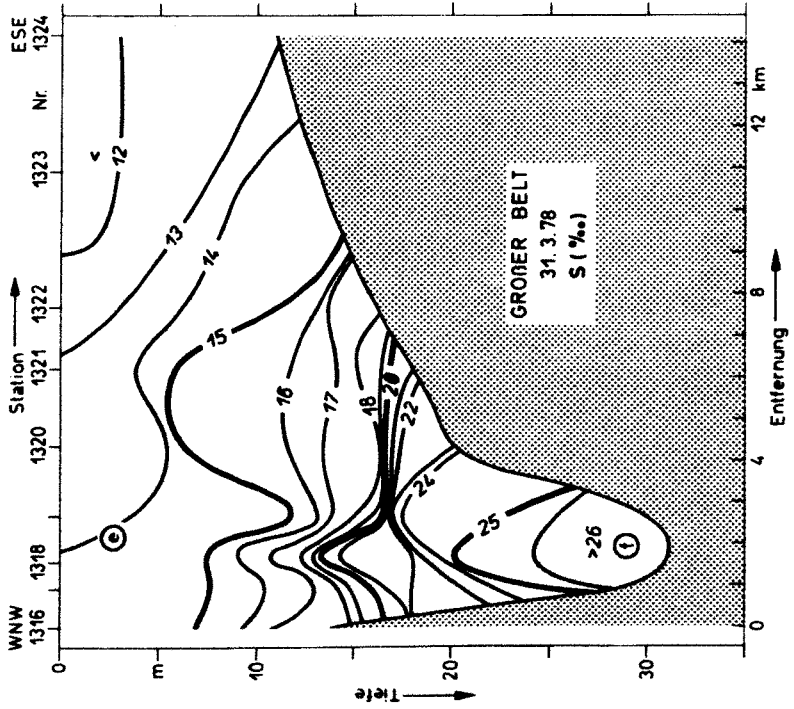
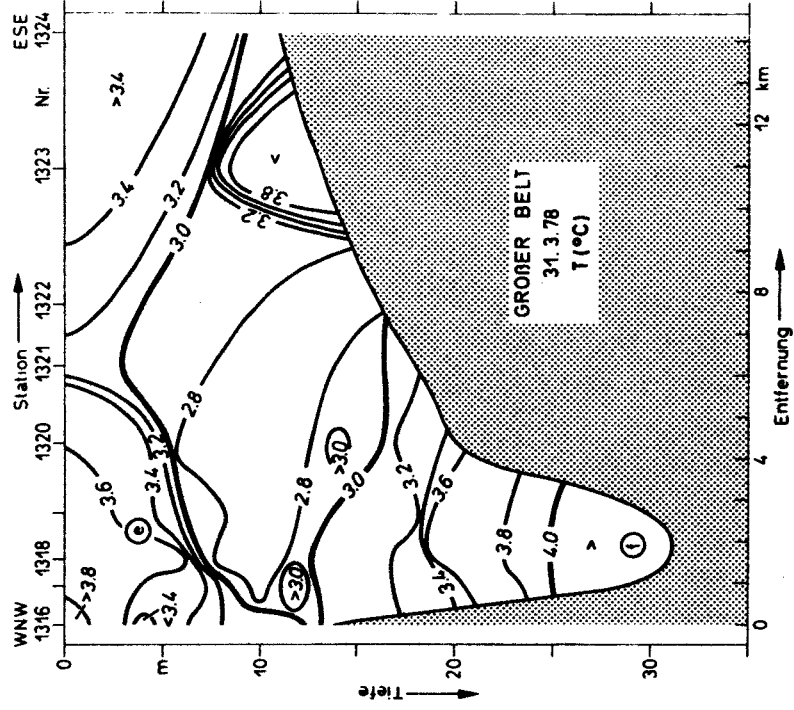


Abb. 14: Wiederholung des Schnittes über den Großen Belt am 31.3.78  
 Durch die Frühjahrserwärmung ist es zur Ausbildung eines intermediären  
 Temperaturminimums in 10 m Tiefe gekommen.

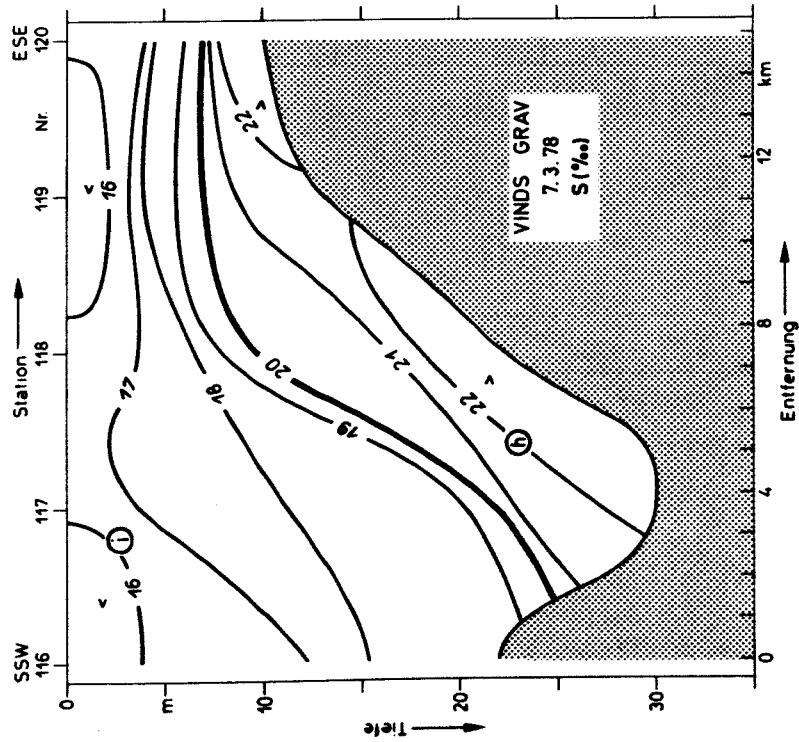
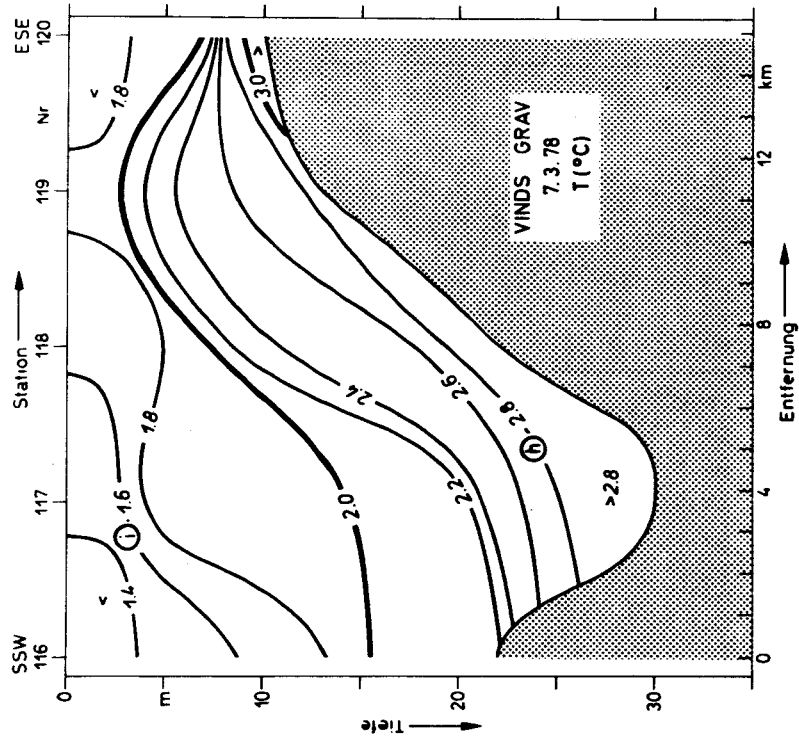


Abb. 15

Die Abbildungen 15 bis 18 stellen eine Serie von hydrographischen Schnitten im Seegebiet "Vindsgrav" auf dem Wege zwischen dem Ausgang des Großen Belt und dem Fehmarnbelt dar. Der Abstand zwischen den Schnitten beträgt ca. 4 km. Die Schnitte wurden innerhalb von 11 Stunden aufgenommen.

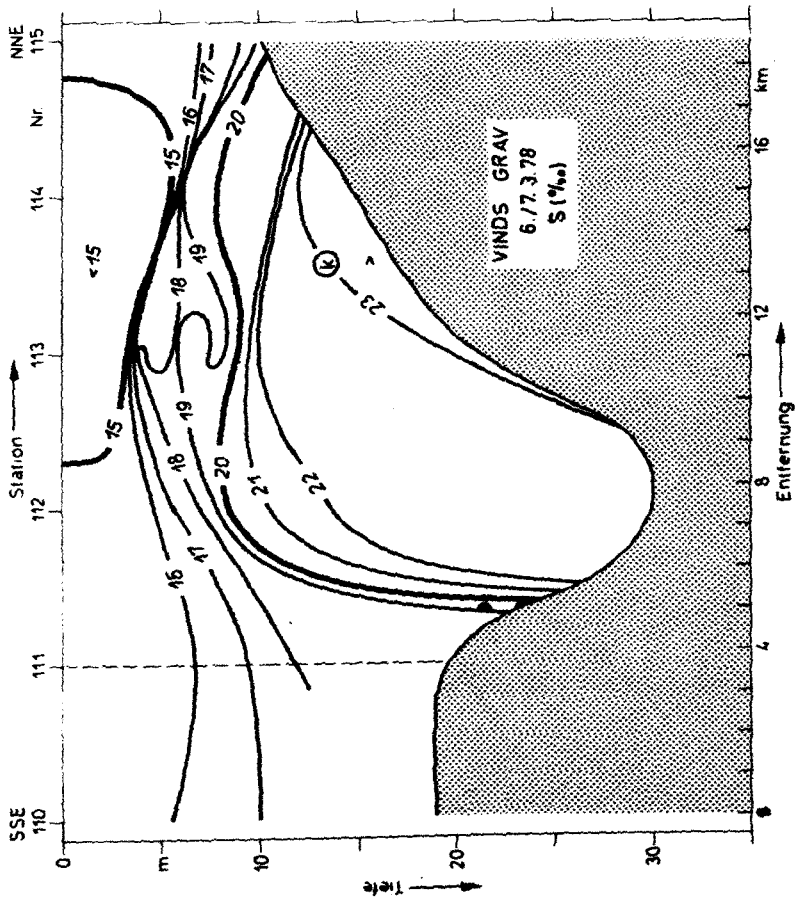
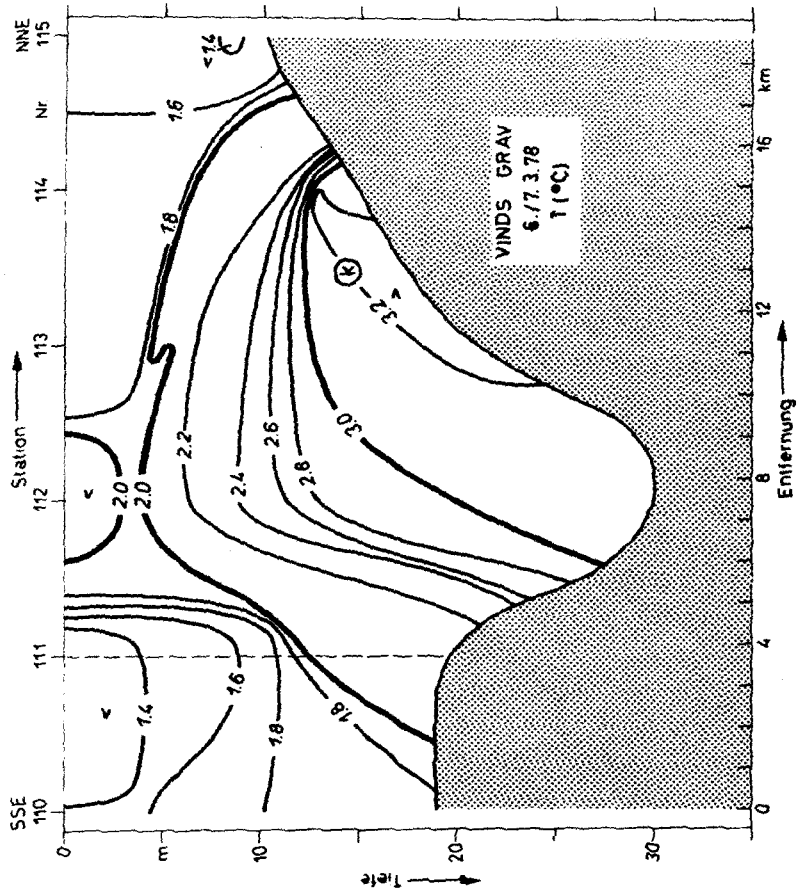


Abb. 16

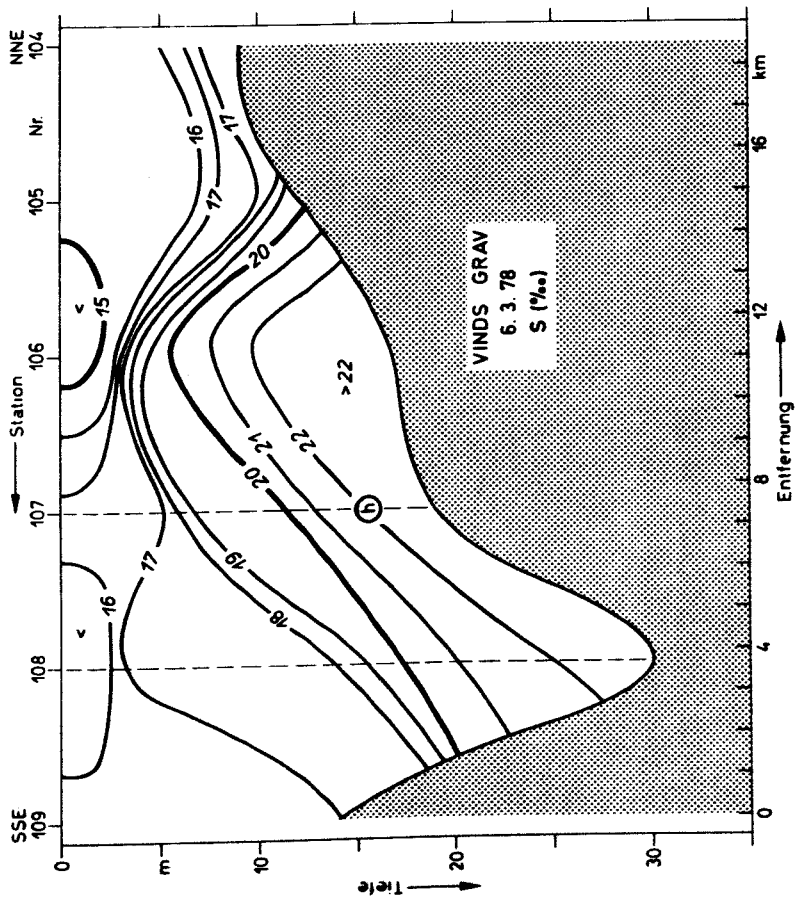
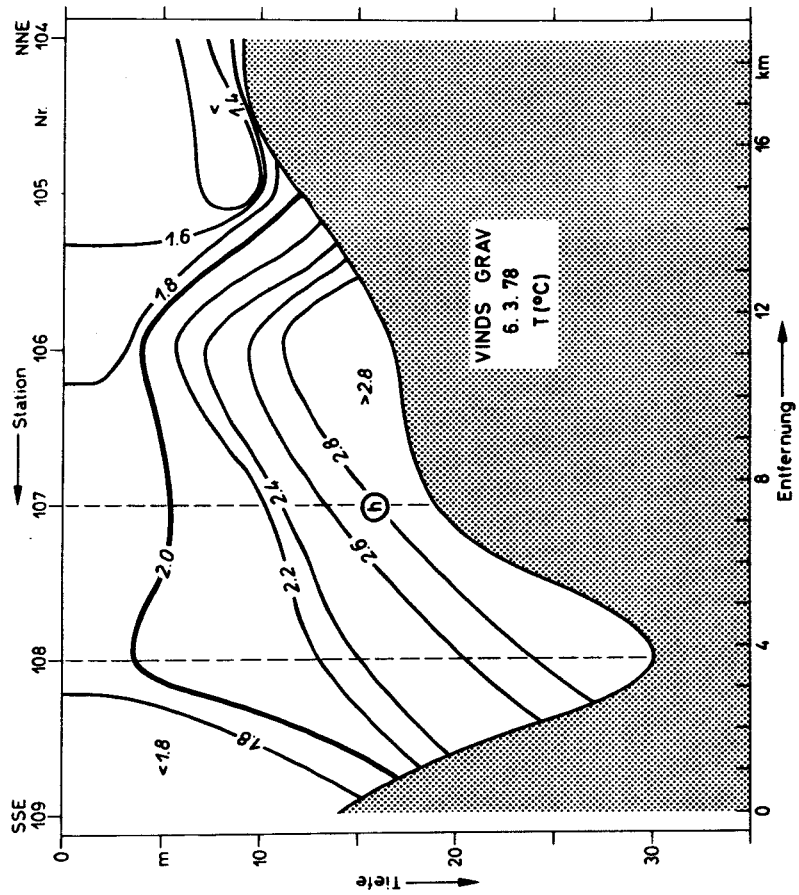


Abb. 17

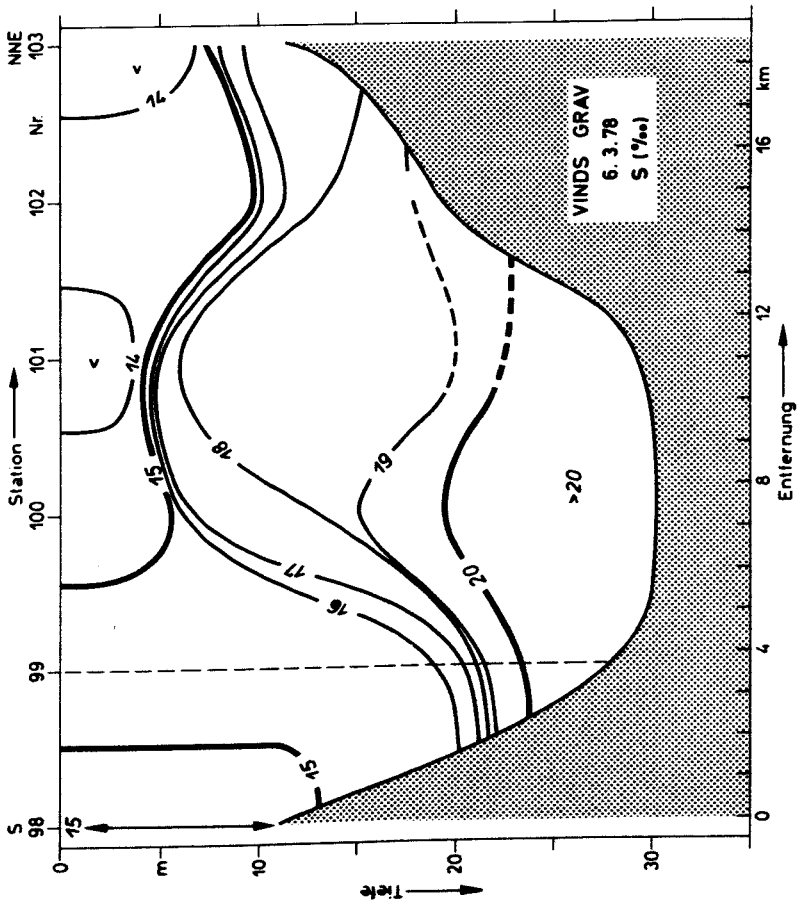
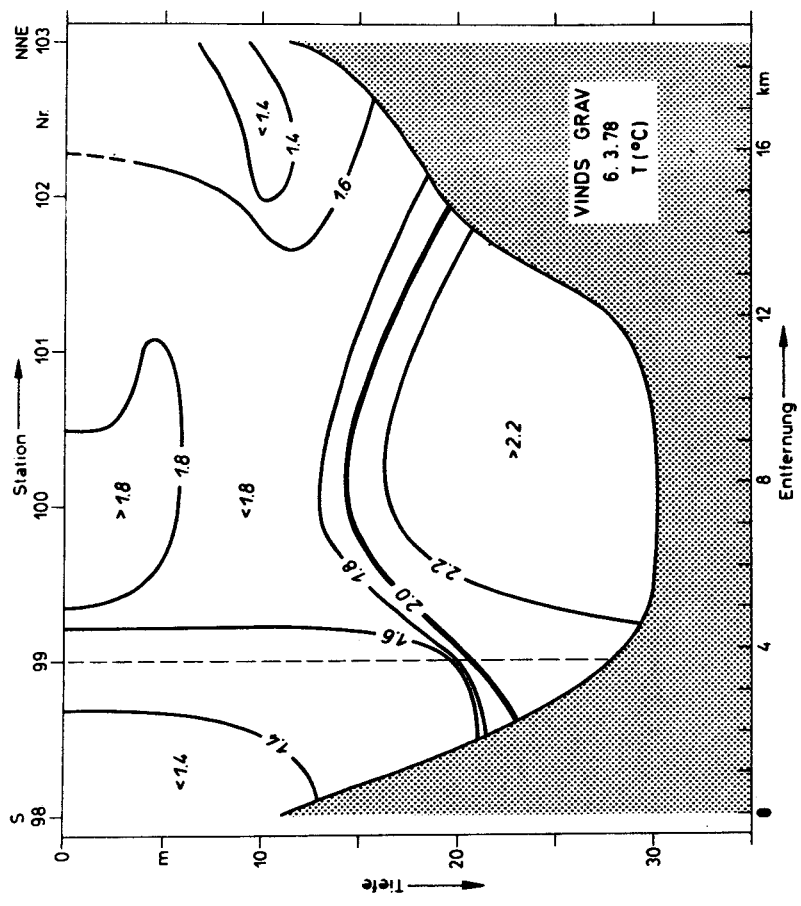


Abb. 18



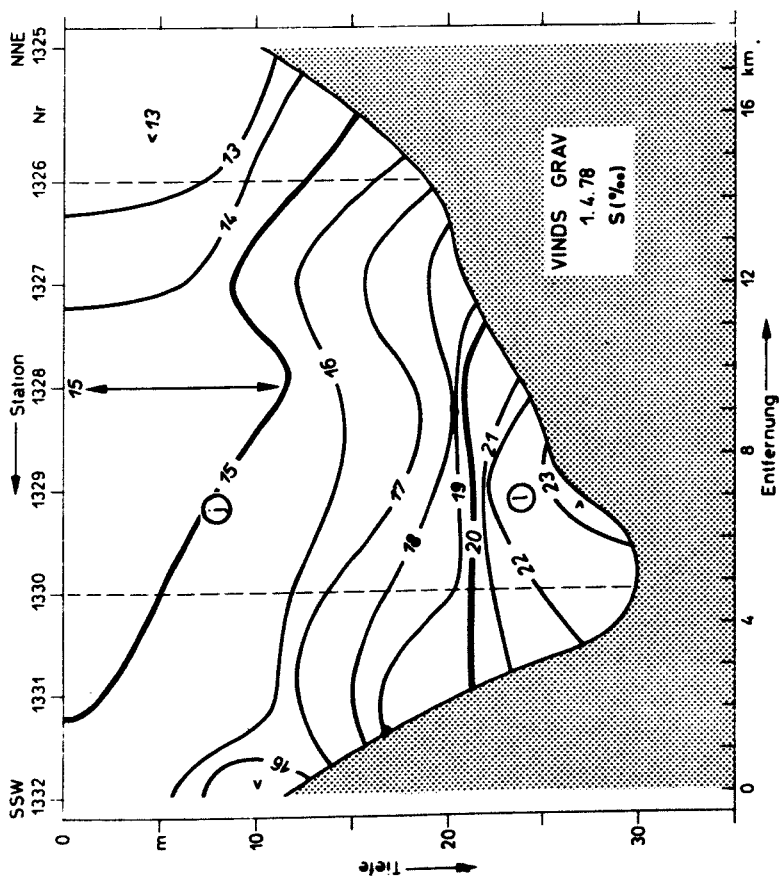
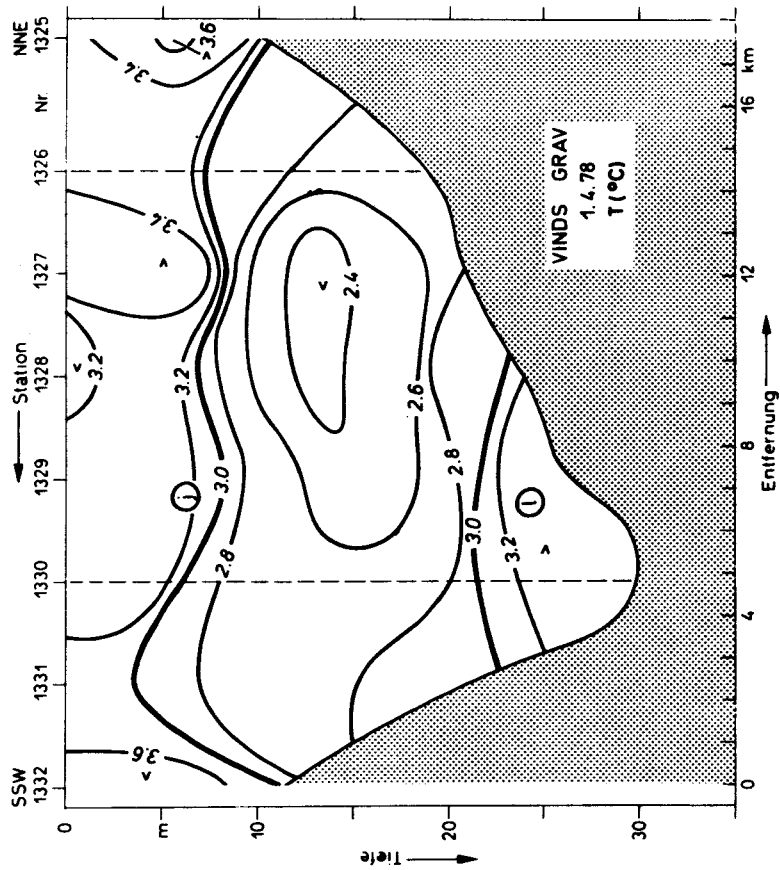


Abb. 19: Wiederholung des Fehmarnbeltschnittes in Abb.18 nach 26 Tagen. Deutlich ist die Wirkung der Frühjahrserwärmung mit dem Auftreten der intermediären Schicht ( $T \approx 2.8^\circ\text{C}$ ) zwischen ca. 8 m und 18 m Tiefe zu erkennen.

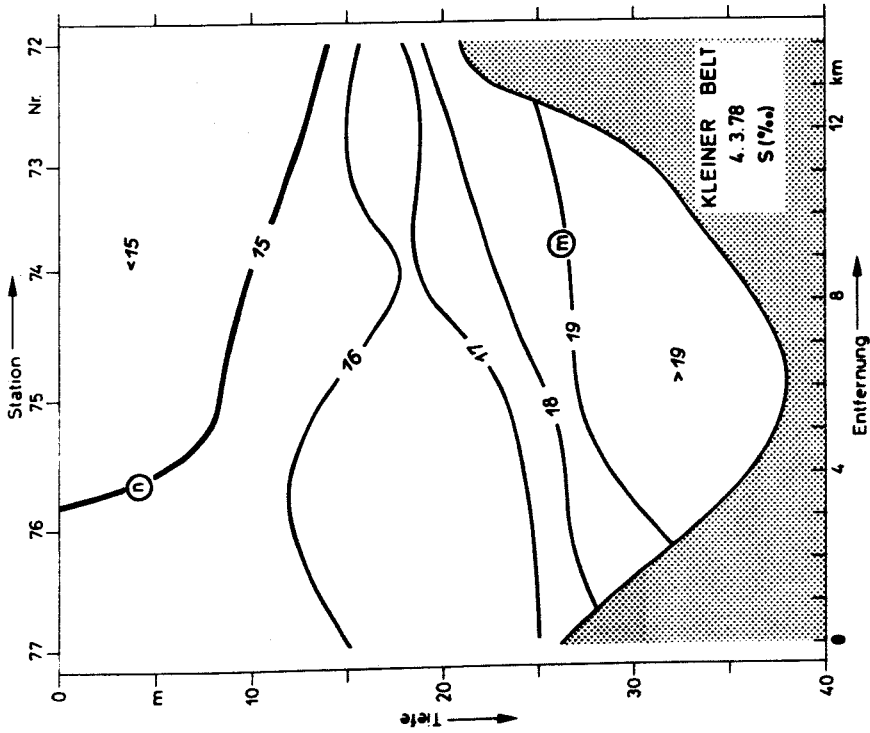
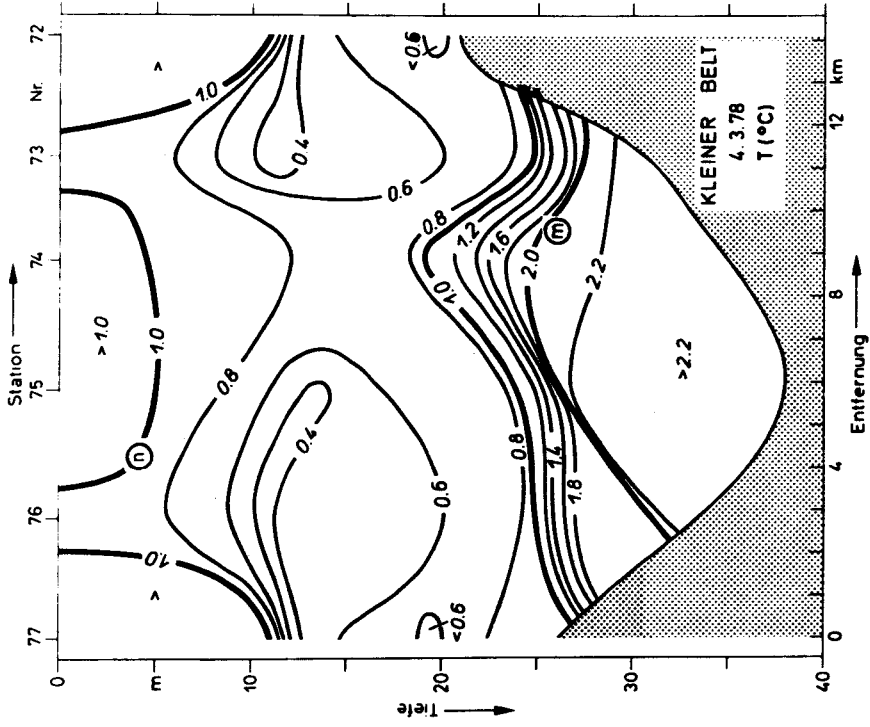
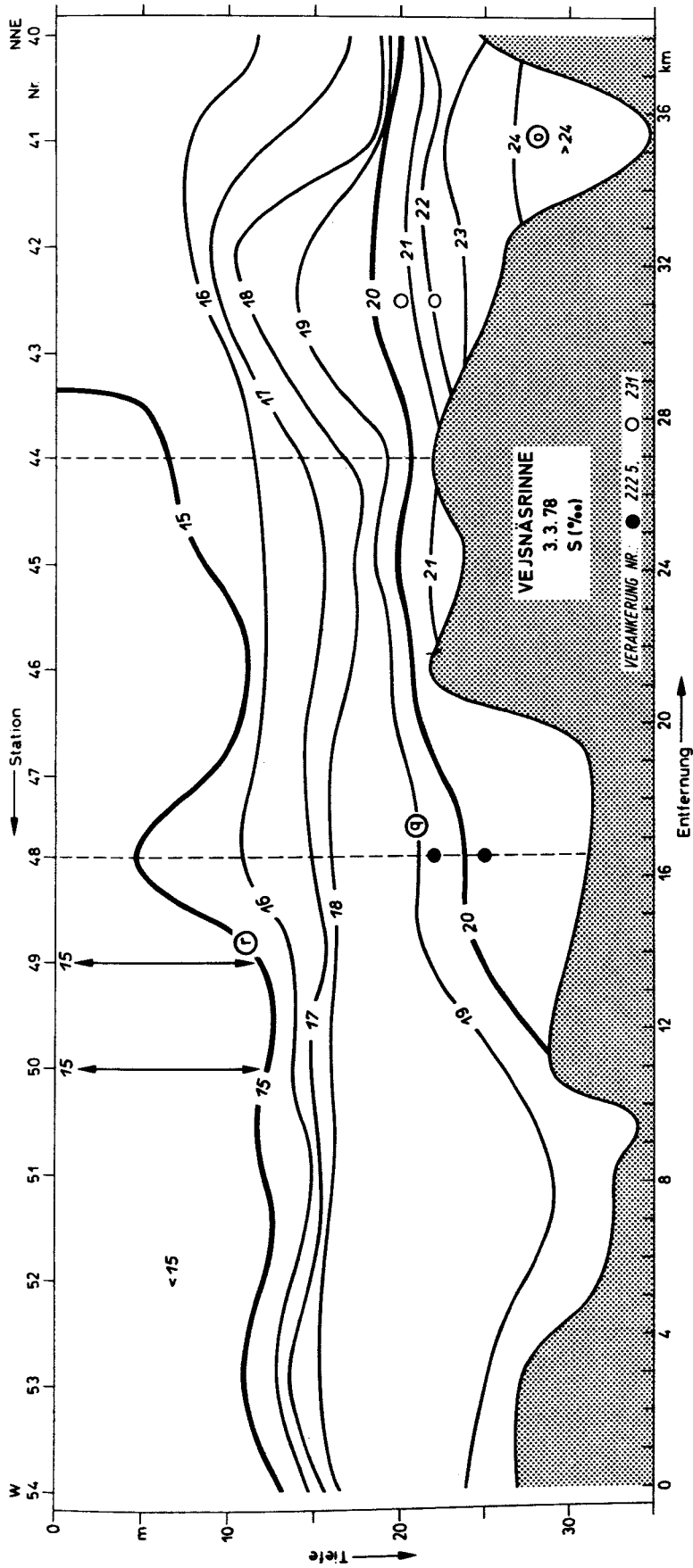


Abb. 20: Schnitt vor dem Ausgang des Kleinen Belt am 4.3.78. Auffallend sind die niedrigen Temperaturwerte bei  $0.4^{\circ}\text{C}$  in 11 m Tiefe, die im übrigen nur noch am westlichen Ausgang der Vejsnäsrinne am Vortage (Abb. 21) beobachtet wurden.



a) Salzgehaltsschnitt

Abb. 21: Längsschnitt durch die Vejsnäsrinne am 3.3.78  
 Die gestrichelten senkrechten Linien kennzeichnen die Lage der Knickpunkte (s. Weiserkarte Abb. 2). Die Lage der Strommesserankerungen "Langzeit" und "Großer Belt" sind eingezeichnet. Die mit zunehmender Entfernung von der Quelle auftretende Vermischung von Kattegattwasser am Boden mit dem darüberliegenden Winterwasser wird besonders deutlich an der Schräglage der 20‰- bzw. 2.0°C-Isolinie. Die charakteristischen Verhältnisse sind außerdem in das T-S-Diagramm (Abb. ) übertragen worden. Die haline Sprungschicht (16‰ -18‰) liegt im westlichen Teil der Vejsnäsrinne zwischen 14 m und 17 m. An der Oberfläche herrscht weitgehend Homothermie.

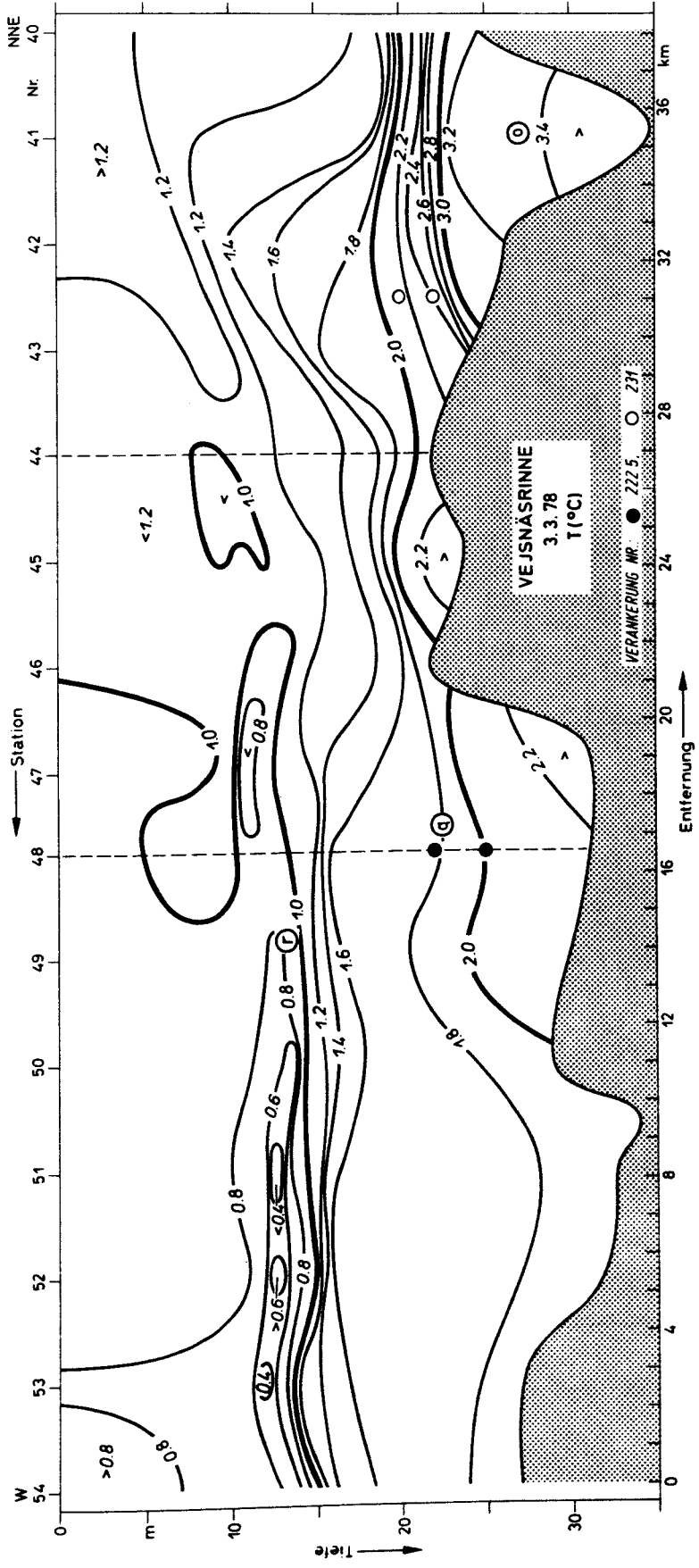


Abb. 21 b): Temperaturschnitt

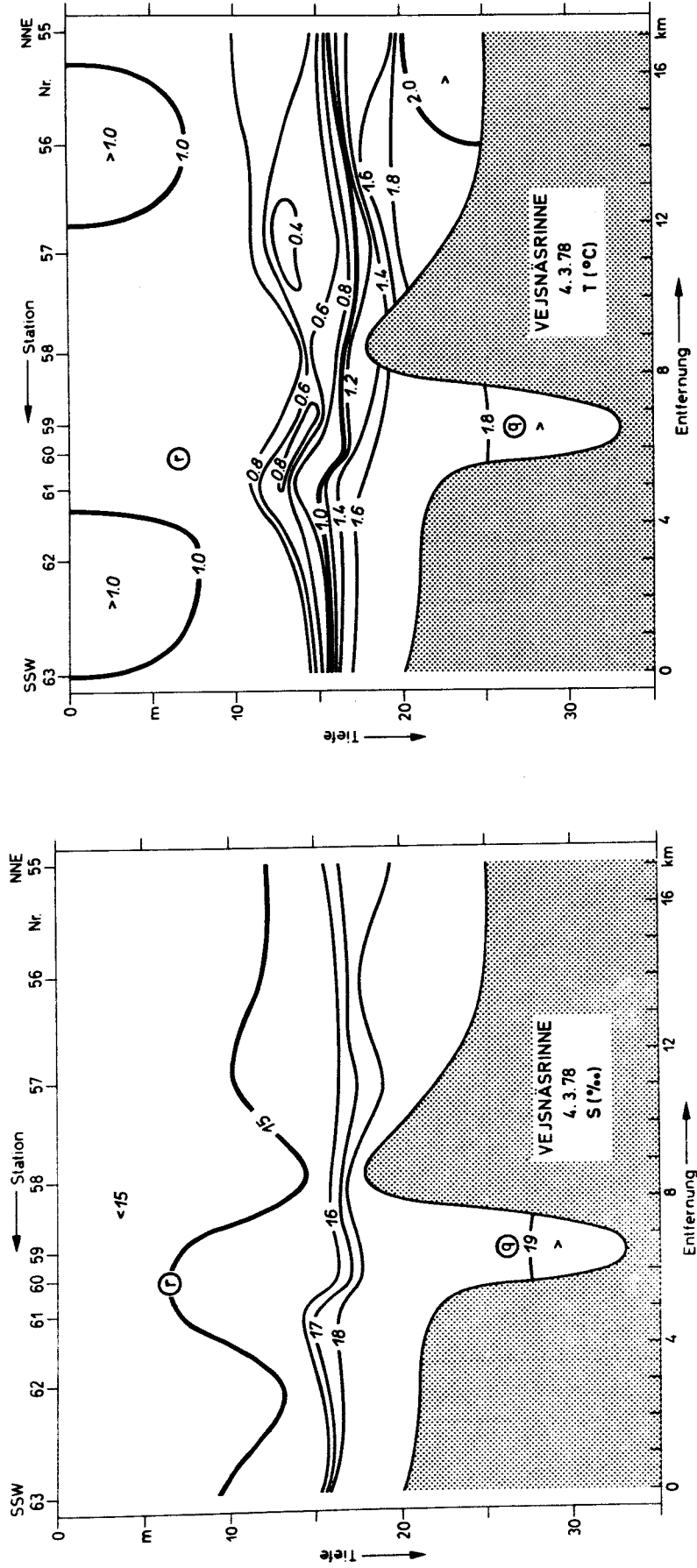


Abb. 22: Hydrographischer Schnitt quer über die Vejsnäsrinne vom 4.3.78

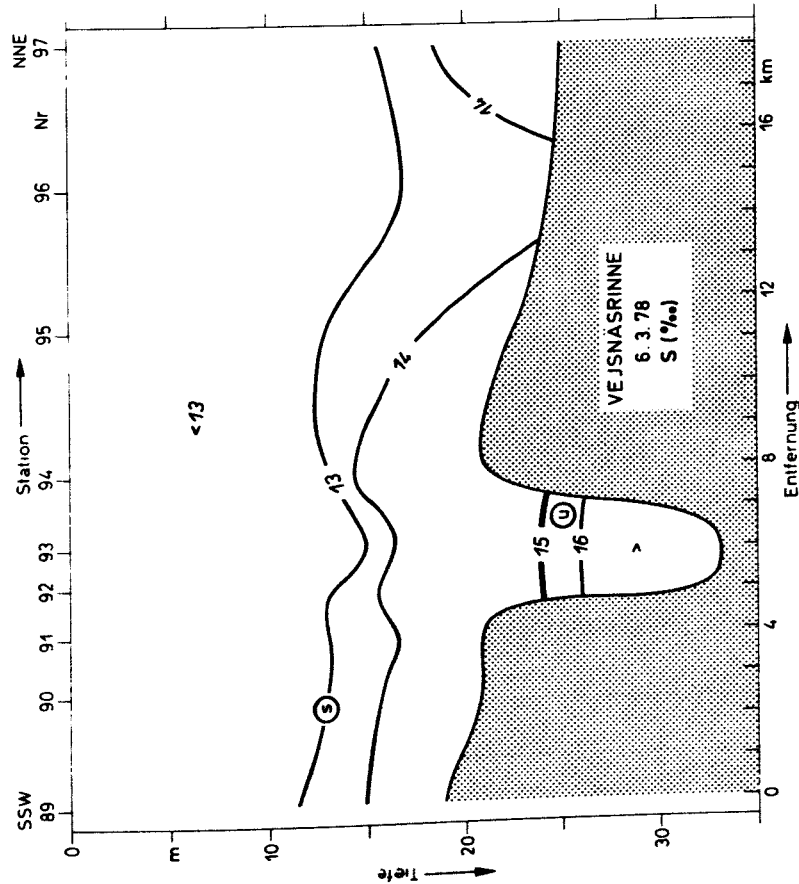
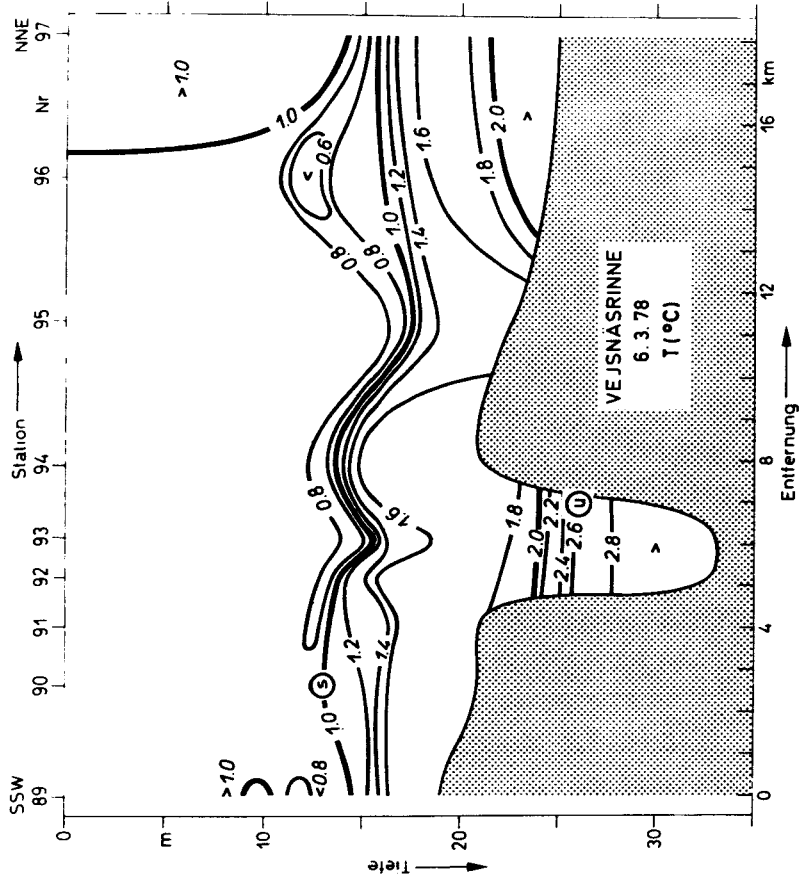


Abb. 23: Wiederholung des Schnittes von Abb. 22 am 6.3.78. Die Salzgehaltsabnahme am Boden der Rinne ist mit einer Zunahme der Temperatur um 1°C verbunden. Offenbar handelt es sich um einen "Fremdwasserkörper", der im Vermischungsdiagramm (Abb. 10) deutlich auffällt.



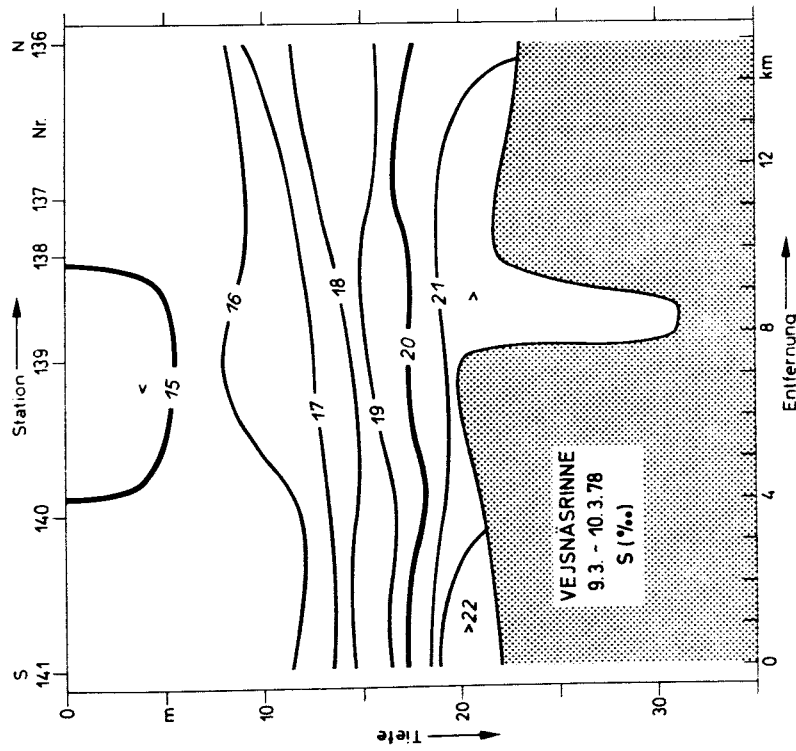
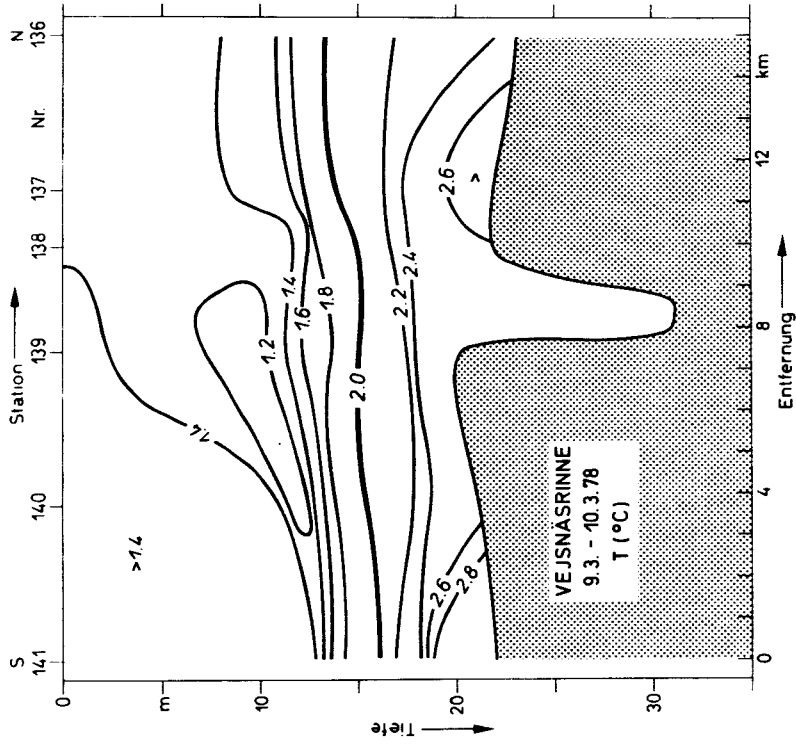


Abb. 25

Abb. 25 bis Abb. 27: Serie von Schnitten quer zur Vejsnäsrinne jeweils in 5 km Abstand, aufgenommen am 9. und 10.3.78 innerhalb von 5 Stunden.



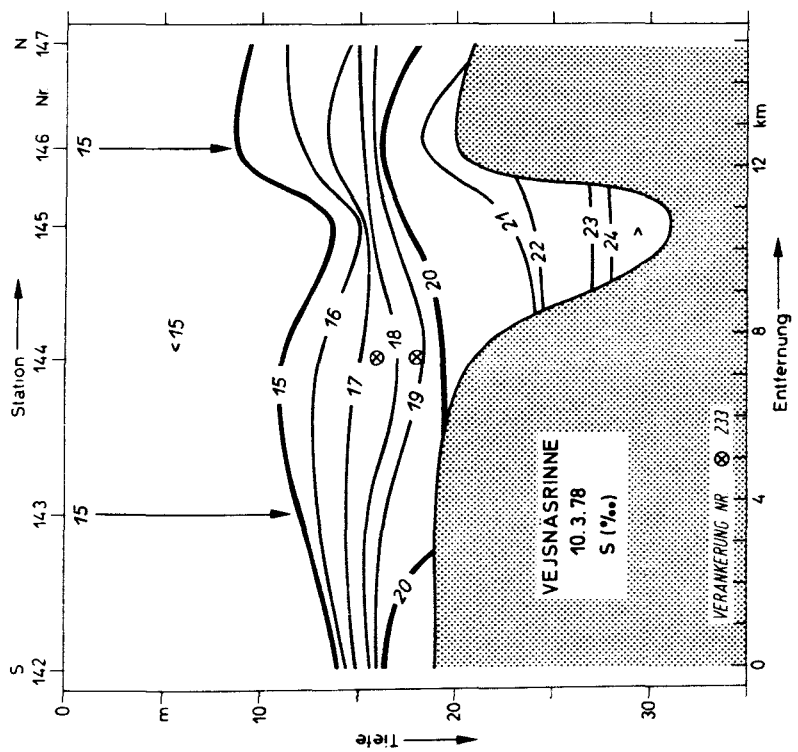
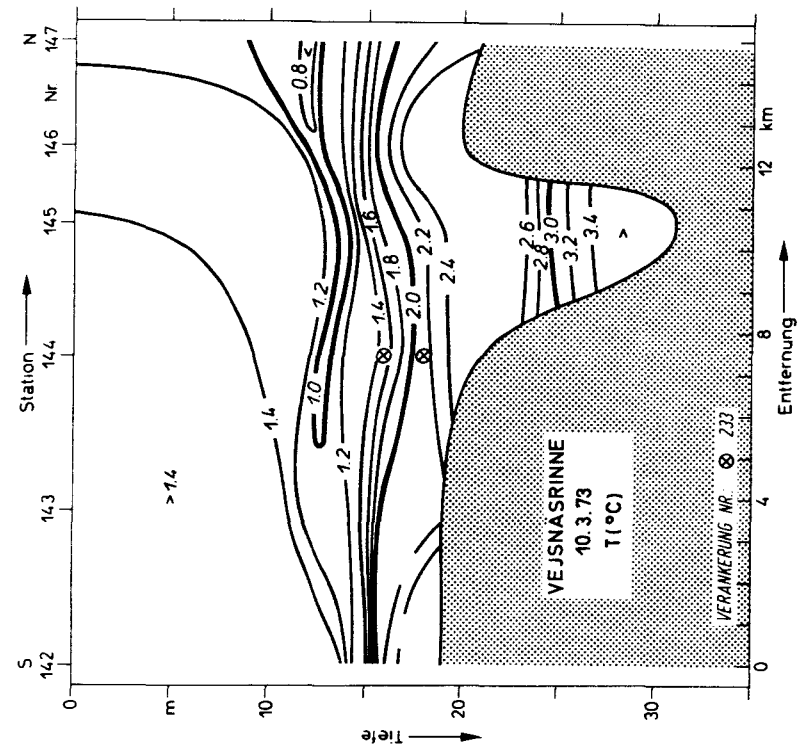


Abb. 26

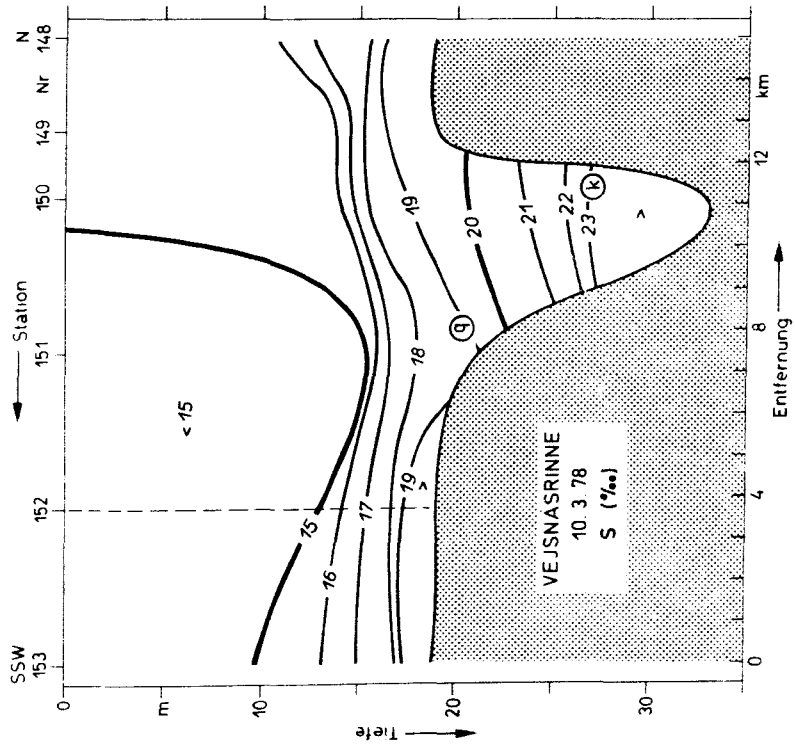
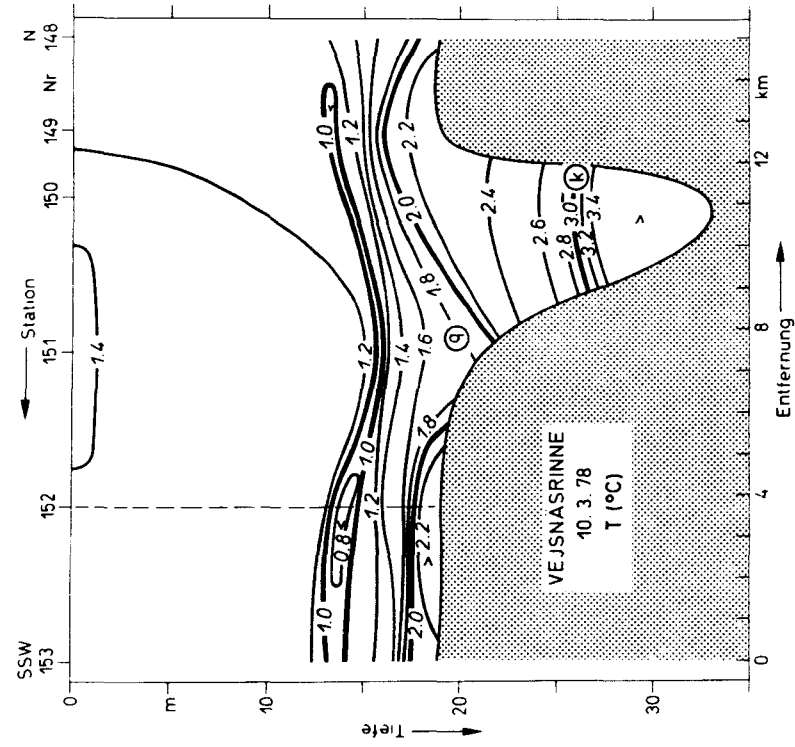


Abb. 27: Im Gegensatz zu Abb. 23 fügen sich hier die Temperatur-Salzgehaltswerte wieder in das Schema in Abb. 10 ein.

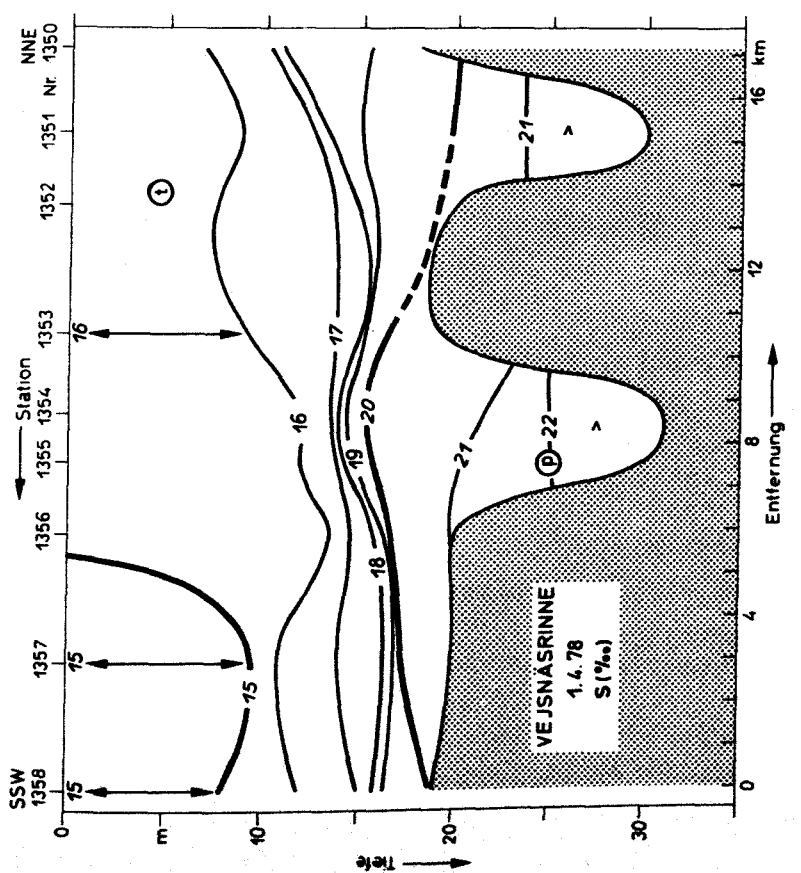
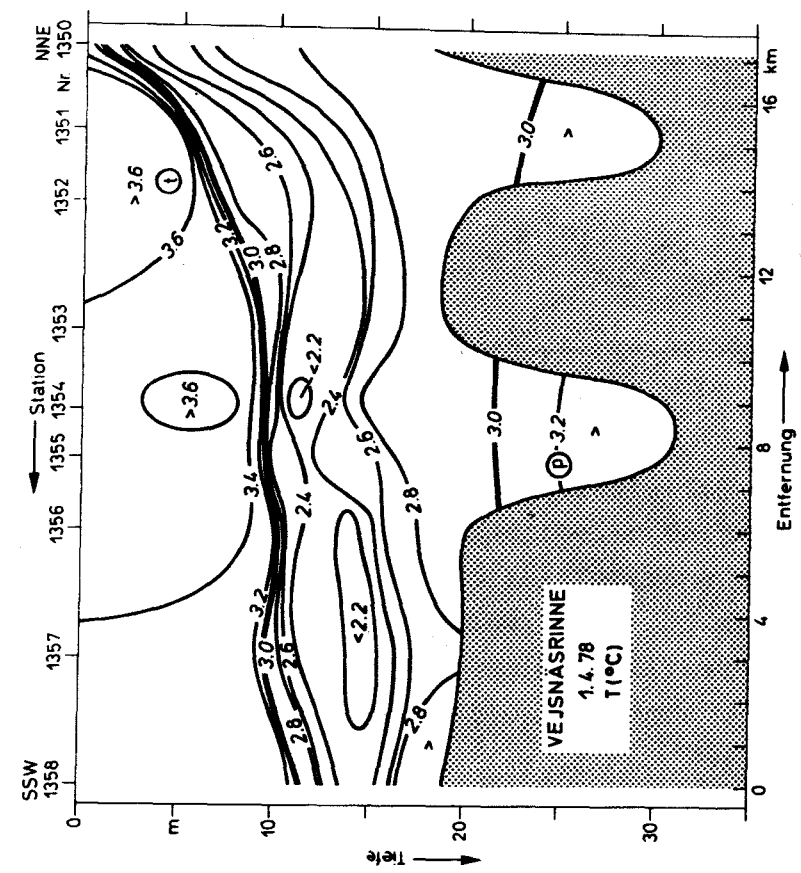


Abb. 28: Querschnitt über Vejsnæs- und Marstalrinne (Stat. 1351) am 1.4.78. Das durch die Frühjahrserwärmung auftretende intermediäre Temperaturminimum ( $T < 2.4^{\circ}\text{C}$ ) ist deutlich zu erkennen. Die Vejsnæsrinne, die einen tieferen Zugang zum Großen Belt hat, führt wärmeres, salzreicheres Wasser als die Marstalrinne im Norden.

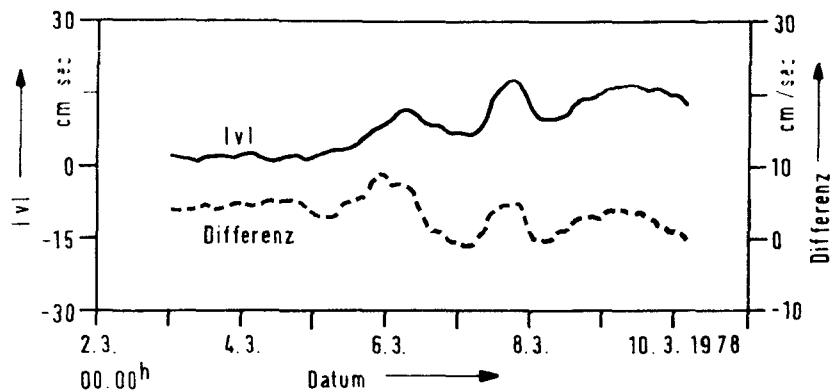


Abb. 29: "Südhang" (20 m Wassertiefe)

Übergreifend gemittelte Zeitreihen der Strömung in 16 m Tiefe und der Scherung zwischen 16 m und 18 m Tiefe (Differenz =  $|v|$  (16 m) -  $|v|$  (18 m)). Die Scherung ist hier direkt mit der Strömung korreliert (vgl. Abb. 30).

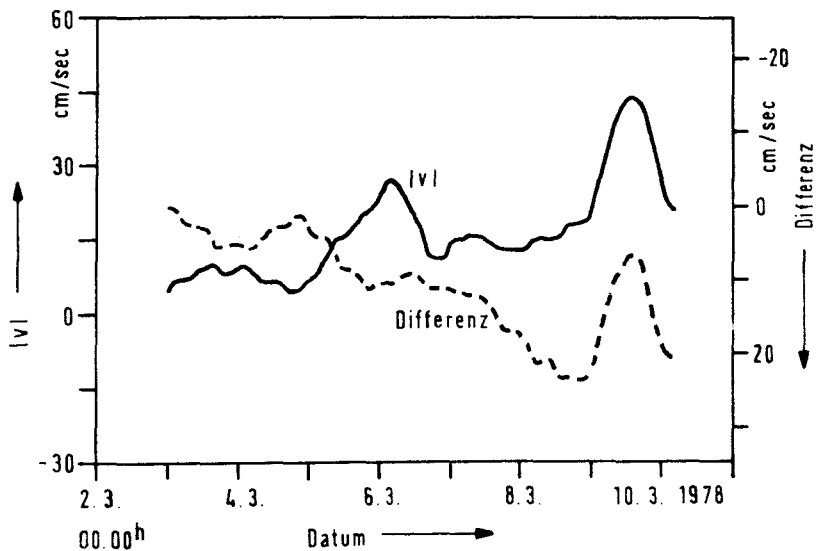


Abb. 30: "Langzeit" (30 m Wassertiefe).

Übergreifend gemittelte Zeitreihen der Strömung in 5 m Bodenabstand und der Scherung zwischen 8 m und 5 m Bodenabstand (Differenz =  $|v|$  (22 m) -  $|v|$  (25 m)). Die Differenz ist positiv nach unten abgetragen, so daß deutlich wird, daß die Scherung innerhalb der bodennahen Schichten bei Stromspitzen minimal wird (vgl. Abb. 32).

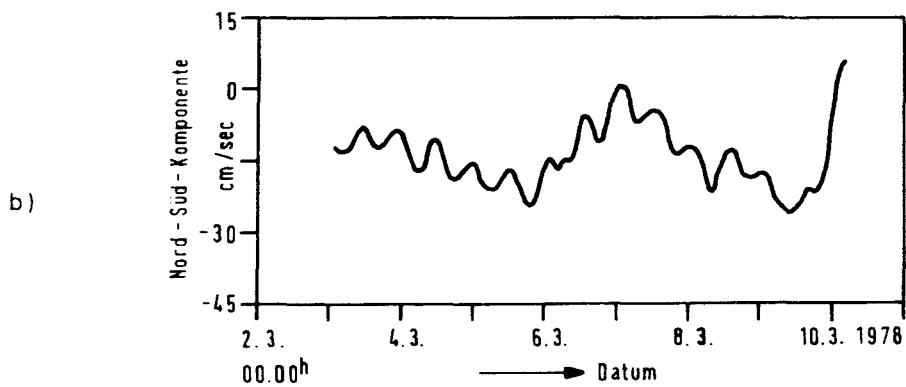
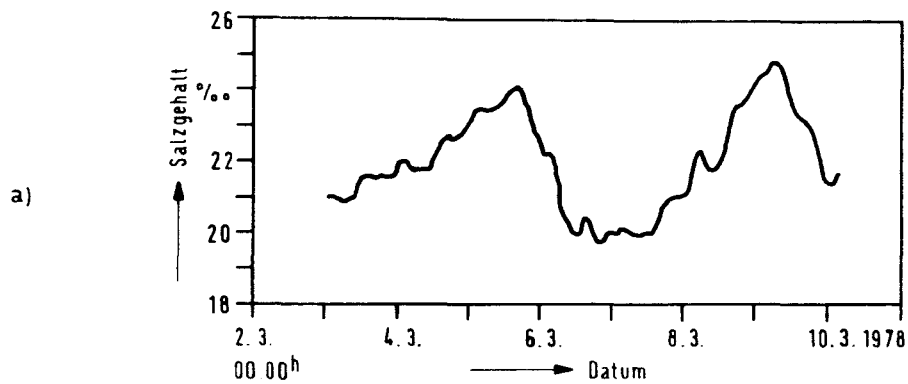


Abb. 31 a): "Großer Belt" (24 m Wassertiefe)  
 Übergreifend gemittelte Zeitreihe des Salzgehalts  
 in 20 m Tiefe.

b): "Großer Belt"  
 Übergreifend gemittelte Zeitreihe der Nord-Süd-  
 Komponente der Strömung in 20 m Tiefe.

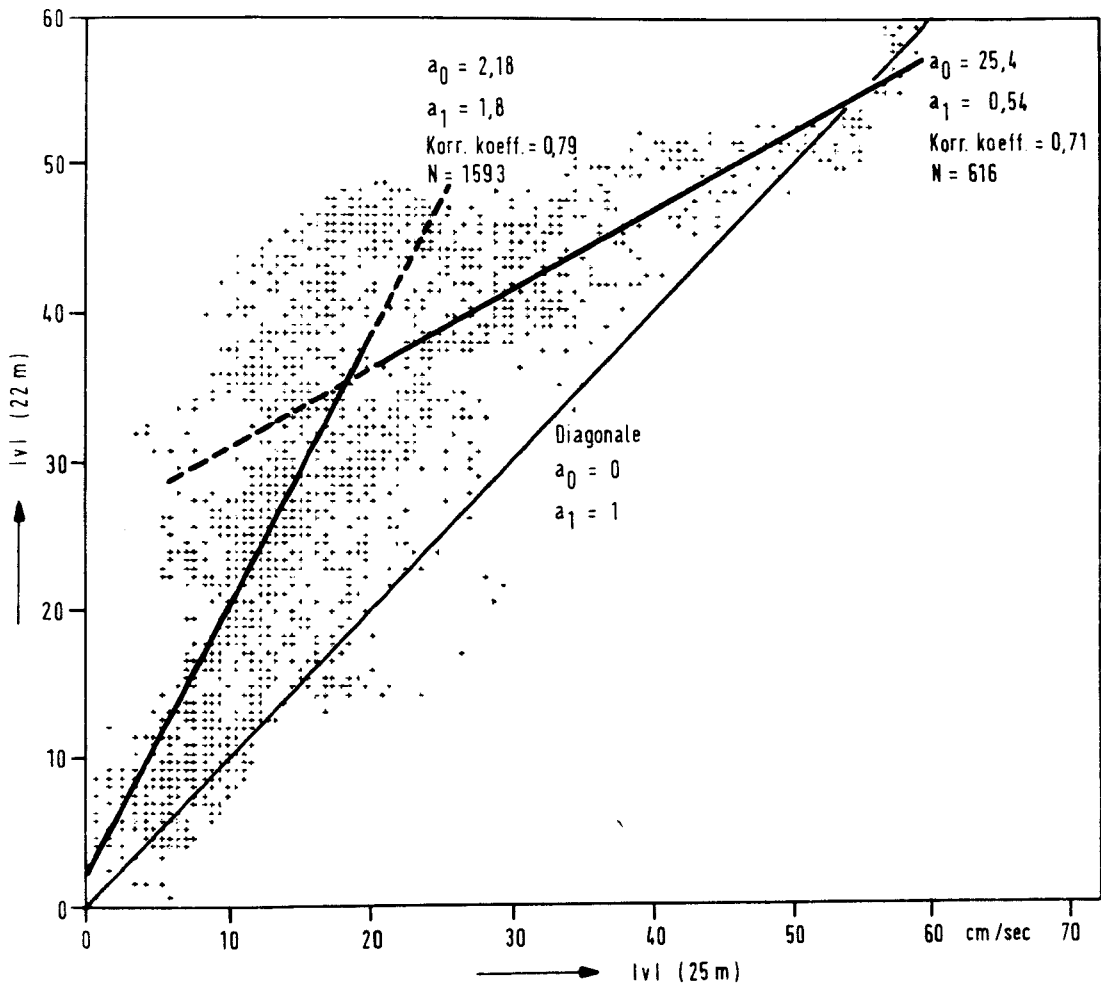


Abb. 32: Streudiagramm der Geschwindigkeitsbeträge der Station "Langzeit" in 22 m und 25 m Tiefe. Die lineare Regression wurde für die Bereiche  $v(25) \leq 20$  cm/sec getrennt berechnet und die entsprechenden Geraden eingezeichnet. Die Koeffizienten  $a_0$  und  $a_1$  bedeuten Achsenabschnitt und Steigung der Geraden,  $N$  ist die benutzte Werteanzahl.

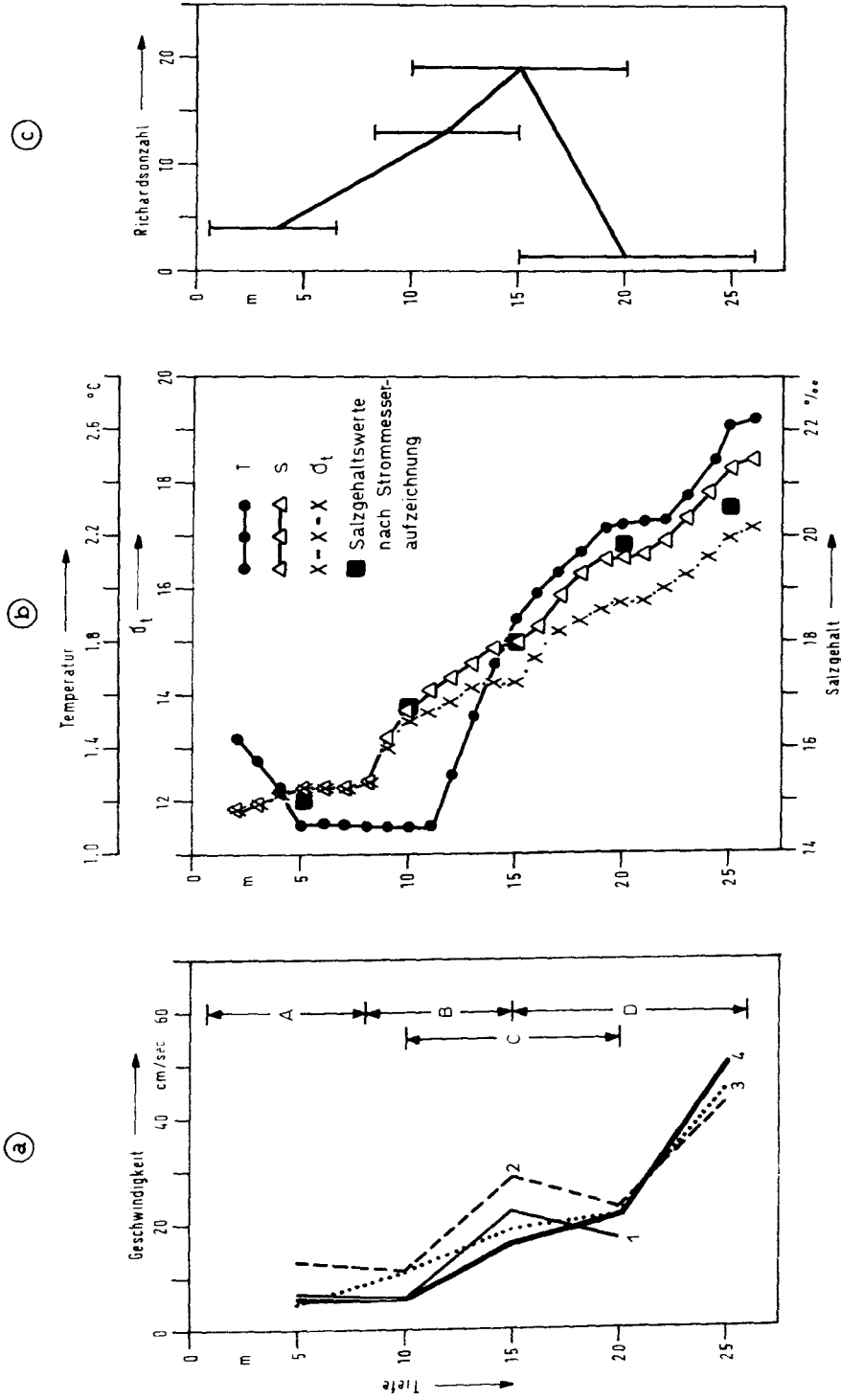


Abb. 33: Vertikalverteilungen von Einstromgeschwindigkeiten (a), Temperatur, Dichte und Salzgehalt (b) bei der Verankerung "Langzeit" in der Zeit vom 8.3. 15.40 bis zum 9.3.79 05.40 (Dauerstation 130). Die Tiefenintervalle A-D geben die Bereiche an, für die die Stromsicherung berechnet wurde. Die Strömungswerte wurden mit einem Aanderaapfiler über 30 min pro Messpunkt gewonnen, die Schichtungsdaten stammen aus Multisondenmessungen. Dieses Beobachtungsmaterial wurde zu Schätzwerten der Vertikalverteilung von Richardsonzahlen weiterverarbeitet (c). Man erkennt, daß im Niveau der thermohalinen Sprungschicht die höchsten Werte von Ri erreicht werden, was auf einen verminderten Austausch im Intervall C (10-20 m Tiefe) zwischen den Wasserkörpern hinweist.

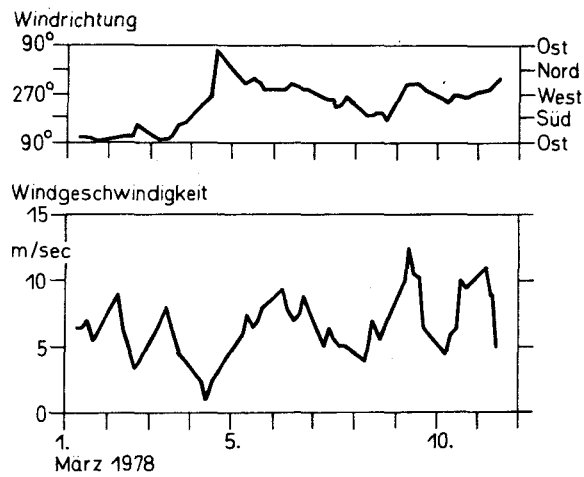
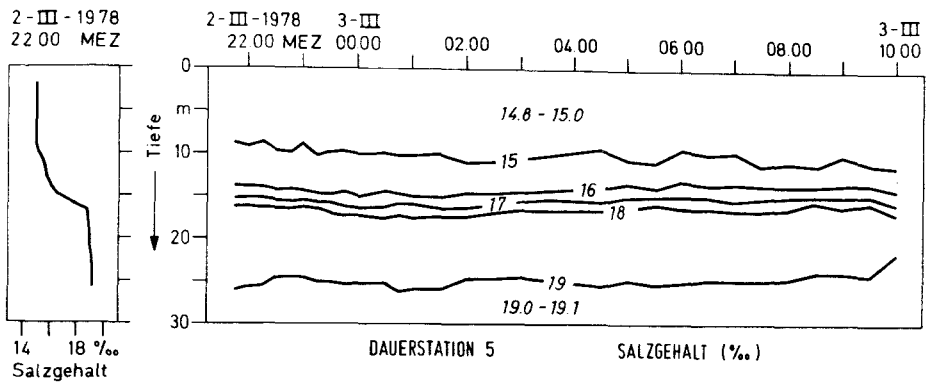


Abb. 34): Windrichtung und Windgeschwindigkeit am Leuchtturm Kiel vom 1.3. bis 11.3.1978 (aus den Schiffswettermeldungen des Seewetteramtes des deutschen Wetterdienstes).





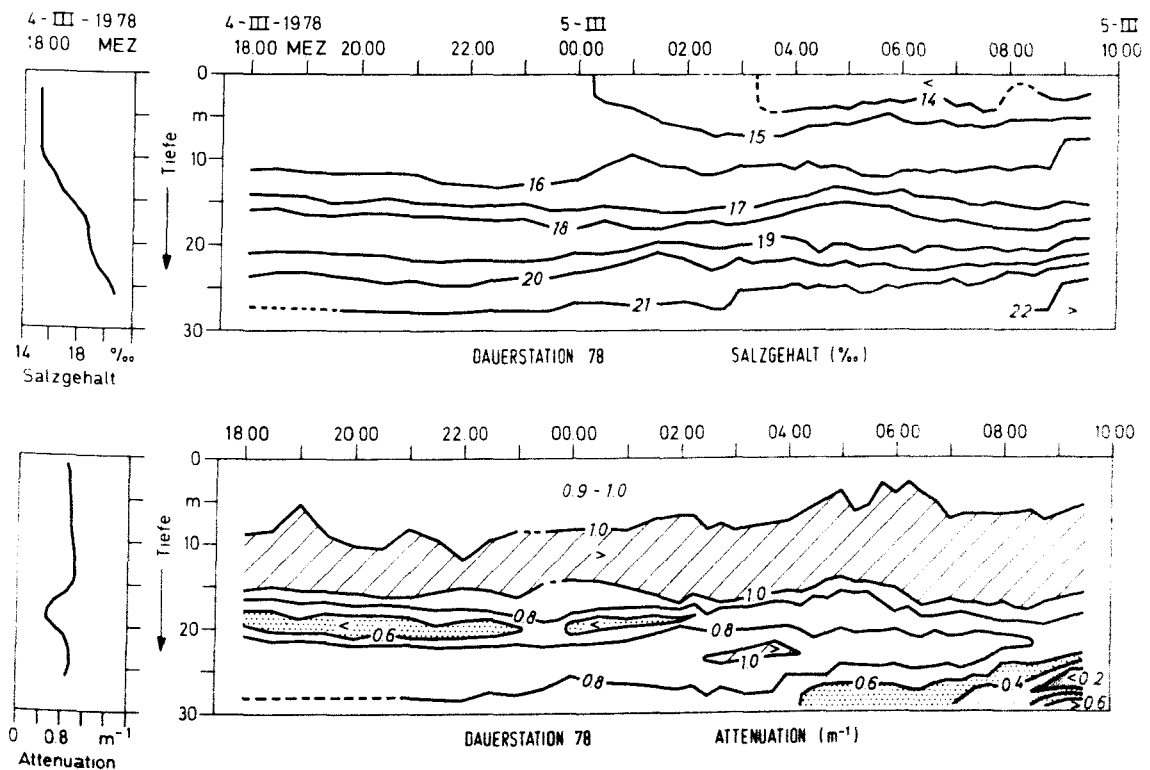
a)

Abb. 35): Typische Profile und Isoplethen des Salzgehalts und der Trübung

a) am 2. und 3. März 1978 (Dauerstation 5)

b) am 4. und 5. März 1978 (Dauerstation 78)

Relative Maxima in der Trübung sind schraffiert, relative Minima punktiert.



b)

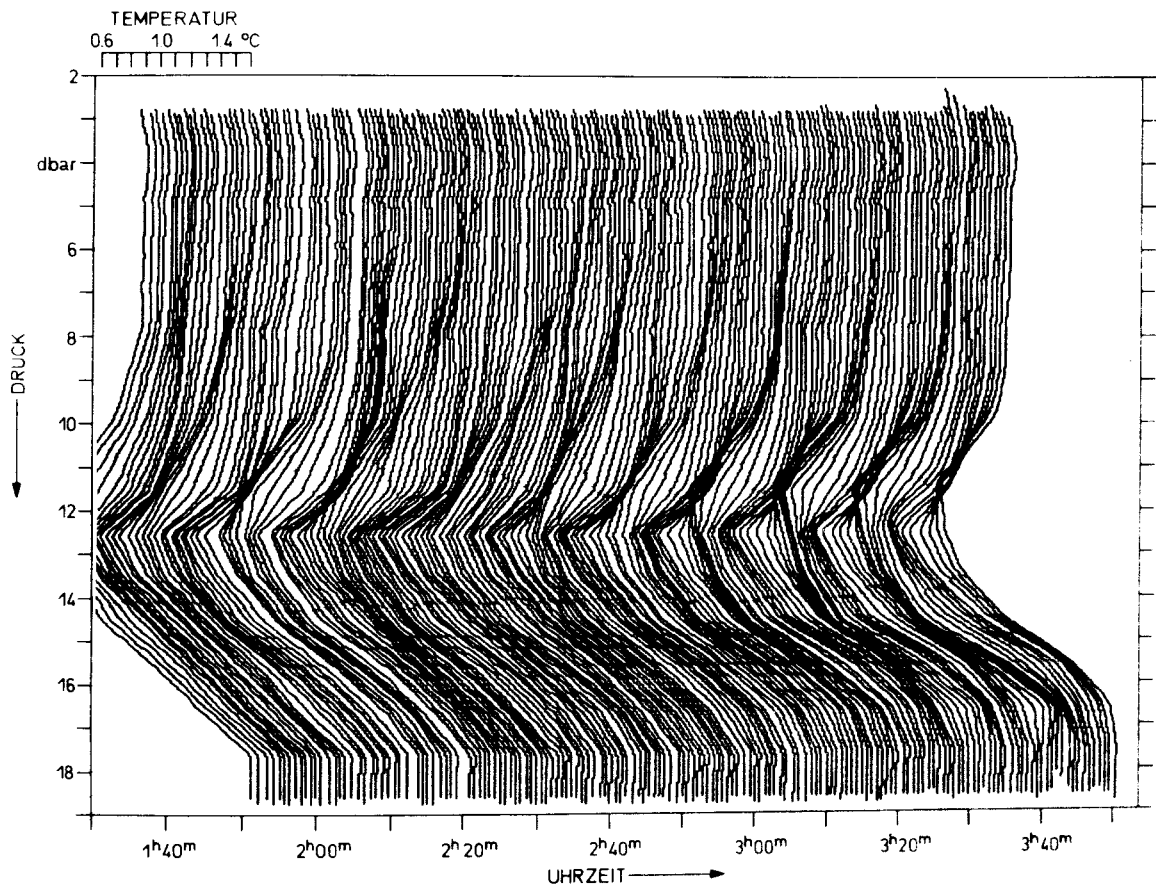


Abb. 36 a): Temperaturprofile aus DOPY-Messungen vom  
3.3.78 1.20 bis 3.40 (Dauerstation 5)

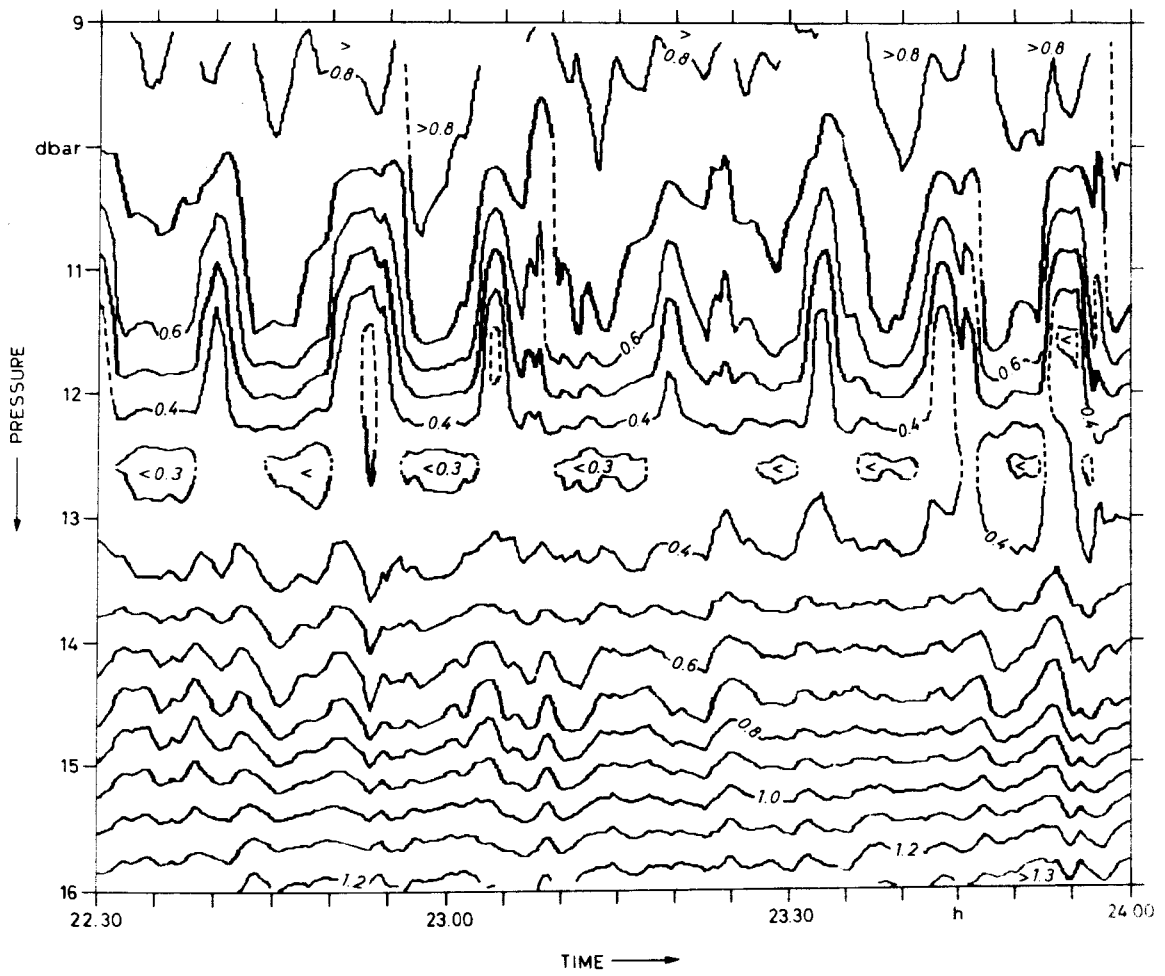


Abb. 36 b): Isoplethen der Temperatur vom 3.3.78 (Dauerstation 5)

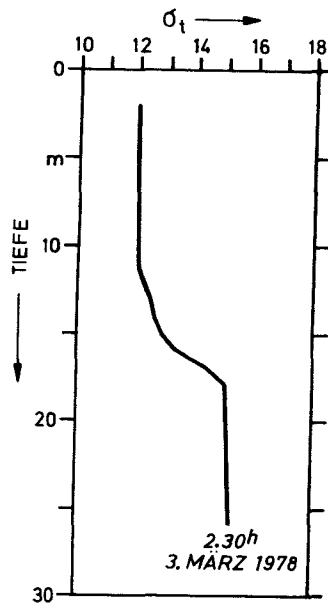


Abb. 37: Typisches  $\sigma_T$ -Profil der Dauerstation 5 aus Multison-  
daten berechnet.

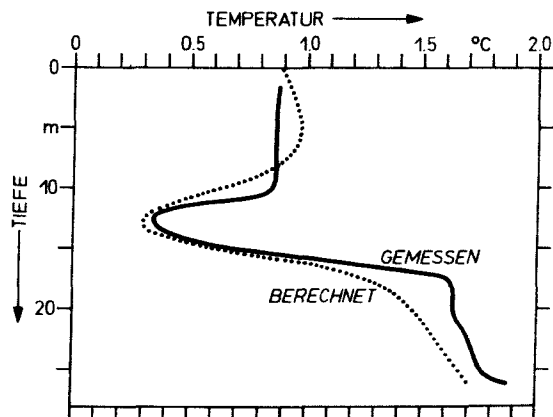


Abb. 38: Typisches gemessenes Temperaturprofil der Dauerstation  
5 im Vergleich zu einem durch eine analytische Funktion  
angepasstes Profil.

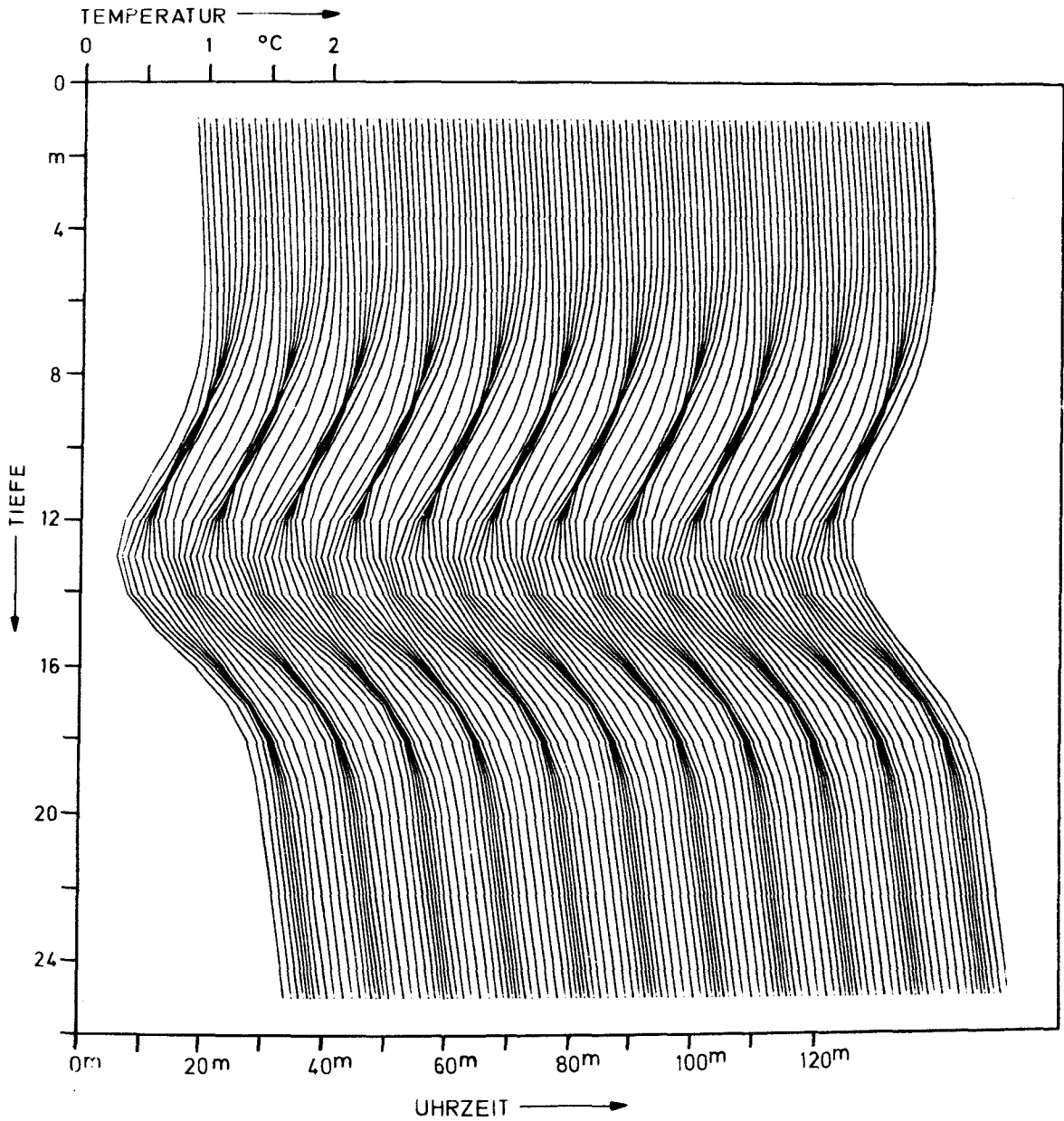


Abb. 39: Berechnete durch interne Wellen modifizierte Temperaturprofile (vgl. Abb. 36 und 38).

Die Temperaturskala der aufeinander folgenden Profile ist jeweils um 1 Minute verschoben.