

Copyright ©

Es gilt deutsches Urheberrecht.

Die Hochschulschrift darf zum eigenen Gebrauch kostenfrei heruntergeladen, konsumiert, gespeichert oder ausgedruckt, aber nicht im Internet bereitgestellt oder an Außenstehende weitergegeben werden ohne die schriftliche Einwilligung des Urheberrechtsinhabers. Es ist nicht gestattet, Kopien oder gedruckte Fassungen der freien Onlineversion zu veräußern.

German copyright law applies.

Copyright and Moral Rights for this thesis are retained by the author and/or other copyright owners. The work or content may be downloaded, consumed, stored or printed for your own use but it may not be distributed via the internet or passed on to external parties without the formal permission of the copyright holders. It is prohibited to take money for copies or printed versions of the free online version.

55795

D 673

ÜBER DIE FEHLER BEI DER BESTIMMUNG
DYNAMISCHER TOPOGRAPHIEN AUS
MESSUNGEN MIT XBT-SONDEN

Diplomarbeit von
Hans-Harald Hinrichsen



Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät der
Christian-Albrechts-Universität Kiel

Kiel
1985

Referent: Prof.Dr. W.Krauß
Korreferent: Prof.Dr. J.Meincke

Inhaltsverzeichnis

	Seite
1. Einleitung und Zielsetzung	1
2. Datenbasis	4
3. Methoden zur Berechnung dynamischer Topographien	7
3.1 Dynamische Topographien aus CTD-Messungen	7
3.2 Dynamische Topographien aus XBT-Messungen XBT/TS-Methode	8
4. Flächenhafte Darstellung dynamischer Topographien	12
5. Untersuchungen zur Genauigkeit von dyna- mischen Topographien aus XBT-Daten	16
5.1 XBT/TS-Werte ohne Berücksichtigung von Fehlern	17
5.2 XBT/TS-Werte unter Berücksichtigung von Temperatur- und Tiefenfehlern der XBT- Sonden	21
5.3 XBT/TS-Werte unter Verwendung lokaler TS-Beziehungen	27
5.4 XBT/TS-Werte mit systematischen Fehlern und Interpolations- und Extrapolations- fehlern	32
6. Volumentransporte	37
6.1 Volumentransporte aus Anomalien dynami- scher Tiefen unter Berücksichtigung aller Fehlerarten, Referenzniveau 800 dbar	38
6.2 Volumentransporte unter Berücksichtigung der Anomalien der dynamischen Tiefen mit systematischen und Inter- bzw. Extrapola- tionsfehlern, Referenzniveau 800 dbar	39

6.3	Volumentransporte aus Anomalien dynamischer unter Berücksichtigung aller Fehlerarten, Referenzniveau 1500 dbar	39
6.4	Volumentransporte unter Berücksichtigung der Anomalien der dynamischen Tiefen mit systematischen und Inter- bzw. Extrapolationsfehlern, Referenzniveau 1500 dbar	40
6.5	Fehlerbereiche der Volumentransporte	41
7.	Zusammenfassung der Ergebnisse und Schlußfolgerungen	48
8.	Literatur	51
Anhang:	Darstellungen der Kapitel 4-6	53

1. Einleitung und Zielsetzung

Eine Hauptfragestellung des Sonderforschungsbereiches "Warmwassersphäre des Atlantiks", liegt in der Verbesserung der Kenntnisse der Strömungsverhältnisse im Nordostatlantik, um als langfristiges Ziel Wärmetransporte beschreiben zu können.

Strömungsmessungen mit verankerten Meßsystemen können aus Kostengründen nur an wenigen Positionen erfolgen. Es wäre sehr kostenintensiv, wollte man mit ihnen Informationen über mesoskalige Strömungsfelder und ihre Strukturen gewinnen, wie dieses zur Abschätzung von Wärmetransportfluktuationen notwendig ist. Um die Informationen über die Strömungsverhältnisse zu erhalten, bedient man sich der dynamischen Methode. Die Unterschiede der Stromgeschwindigkeiten zwischen zwei isobaren Flächen, lassen sich aus Kenntnis des Massenaufbaus des Ozeans bestimmen, wobei Daten für Druck, Temperatur und Salzgehalt vorliegen müssen. Dabei ist man im allgemeinen auf zeitaufwendige CTD-Messungen angewiesen. So ist es verständlich, wenn man durch Ausnutzung der regional z.T. sehr engen Temperatur/Salzgehaltskorrelation im Ozean versucht, den Massenaufbau mit Hilfe von einfachen Temperaturprofilmessungen zu bestimmen. Dazu bietet sich das XBT-System (expandable bathythermograph) an.

Der Vorteil dieses Verfahrens besteht darin, daß die Datenerfassung vom fahrenden Schiff realisiert werden kann und somit innerhalb kurzer Zeit eine verbesserte synoptische Aufnahme des Temperaturfeldes im Ozean erfolgen kann. Durch die Verwendung mittlerer TS-Beziehungen in Verbindung mit den gemessenen XBT-Temperaturen, lassen sich die Anomalien der dynamischen Tiefen z.B. in flächenhafter Form darstellen und vermitteln damit u.a.

Diese Arbeit beschreibt darüberhinaus den Einfluß der durch die Verwendung von XBT-Sonden auftretenden Fehler (Tiefen-
Temperaturfehler, etc) und deren Auswirkungen auf die Werte
der Anomalien der dynamischen Tiefen.

2. Datenbasis

Grundlage dieser Arbeit bilden hydrographische Daten, die während der Feldmessungen für den Sonderforschungsbereich "Warmwassersphäre des Atlantiks" der Universität Kiel ermittelt wurden. Besondere Berücksichtigung für die Berechnungen der dynamischen Topographie und der Massentransporte fanden CTD- und XBT-Messungen in einer "Box" zwischen 42°N und 46°N , die während der 57.Meteor-Reise untersucht wurde und ein langer Schnitt entlang des Mittelatlantischen Rückens von den Azoren bis zur Subpolarfront, der während der 87.Poseidon-Reise aufgenommen wurde. Der mittlere Stationsabstand für die CTD-Messungen betrug während der beiden Reisen 30 sm, während die XBT-Messungen im Abstand von 15 s erfolgten, um eine grössere horizontale Auflösung zu erreichen.

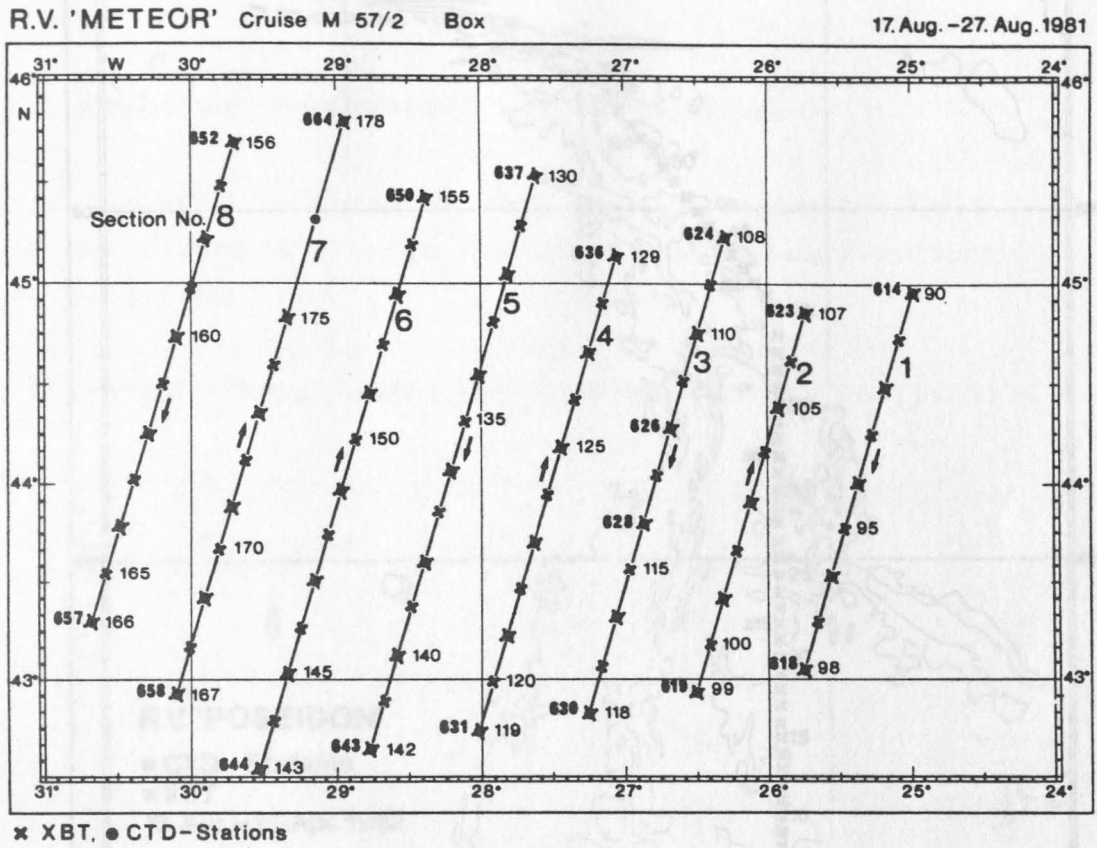


Abb.A Geographische Verteilung der XBT- und CTD-Stationen in der hydrographischen "Box"

Abb.B Geographische Verteilung der XBT- und CTD-Stationen während der W. Passatkreise

Cruise P87

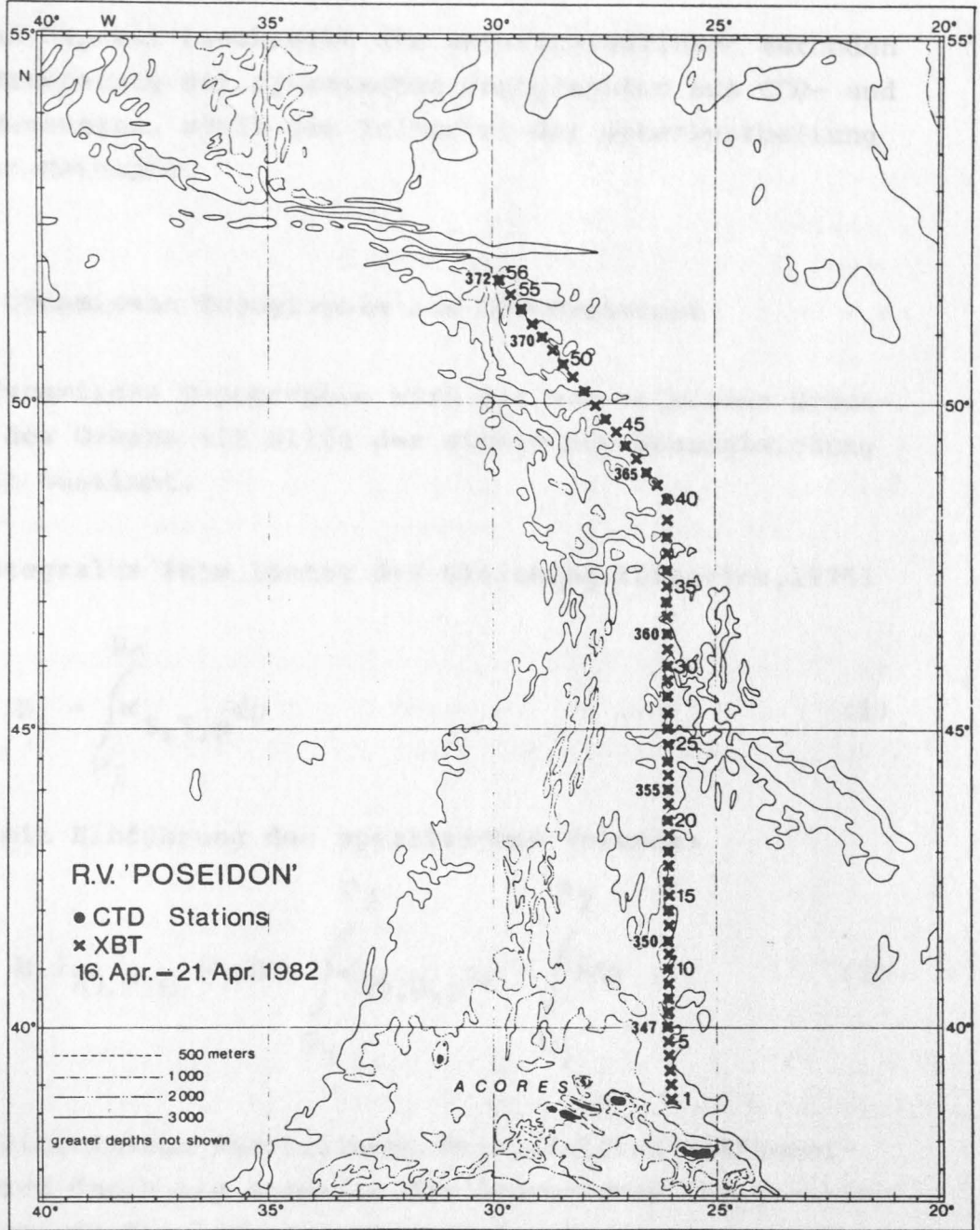


Abb.B Geographische Verteilung der XBT- und CTD-Stationen während der 87.Poseidonreise

3. Methoden zur Berechnung dynamischer Topographien

Dieses Kapitel beschreibt die unterschiedlichen Methoden zur Berechnung der dynamischen Topographien aus CTD- und XBT-Messungen, sowie die Kriterien der Datenbearbeitung dieser Methoden.

3.1. Dynamische Topographie aus CTD-Messungen

Die dynamische Topographie wird aus dem relativen Druckfeld des Ozeans mit Hilfe der statischen Grundgleichung $D = \alpha p$ bestimmt.

In integraler Form lautet die Gleichung (Dietrich, 1975)

$$D_2 - D_1 = \int_{P_1}^{P_2} \alpha_{S,T,P} dp \quad (1)$$

oder mit Einführung des spezifischen Volumens

$$(D_2 - D_1)_{35,0,p} + \Delta D = \int_{P_1}^{P_2} \alpha_{35,0,p} dp + \int_{P_1}^{P_2} \delta dp \quad (2)$$

Die vollständige Beschreibung des relativen Kräftefeldes wird durch die Anomalie der dynamischen Topographie gegeben, da die isobaren Flächen der Standardwassersäule ($\alpha_{35,0,p}$) zueinander parallel sind.

Die obige Gleichung reduziert sich zu

$$\Delta D = \int_{P_1}^{P_2} \sigma dp \quad (3)$$

Durch Integration dieser Schichtwerte über eine Wassersäule, erhält man die Anomalie der dynamischen Topographie jedes Standarddrucks, bezogen auf das ideale Meeresniveau.

Die Prinzipien der Aufbereitung von CTD-Daten (Sy, 1983) und die Berechnungen der dynamischen Topographien wurden aus dem Programmpaket übernommen, wie sie dem Institut für Meereskunde in Kiel zur Verfügung stehen.

Die dynamischen Topographien liegen nach Anwendung dieser Programme in 50 dbar-Intervallen bis zu einem Druck von 1500 dbar, bezogen auf das ideale Meeresniveau in 50 dbar, vor.

3.2. Dynamische Topographien aus XBT-Messungen (XBT/TS-Methode)

Diese Berechnungsmethode geht aus der Arbeit von Emery (1975) hervor, der bemüht war, anstatt des herkömmlichen, aber doch sehr rechenaufwendigen Verfahrens über die Anomalie des spezifischen Volumens, die dynamische Topographie aus Sigma-t-Werten zu berechnen. Aufgrund der damals noch stark eingeschränkten Rechenkapazität der transportablen und für den Schiffseinsatz geeigneten Kleinrechner, war man zur Einschränkung der erforderlichen Rechenkapazität gezwungen, Sigma-t-Werte für die Berechnungen zu benutzen.

Grundlage für die Berechnung bildet die Gleichung

$$d\Delta D = g(\rho_0 - \rho) / \rho_0 \quad (1)$$

wobei g die Erdbeschleunigung, ρ_0 die Dichte der Standardwassersäule und ρ die in situ-Dichte darstellt.

Verwendet man anstelle der Dichte Sigma-t-Werte und führt eine Integration über den Tiefenbereich z durch, ergibt sich

$$\Delta D = g \times 10^{-3} \int_{z_1}^{z_2} ((\sigma_{35,0,p} - \sigma_{S,T,p}) / \rho_0) dz \quad (2)$$

Die Dimension liegt für Gl.(2) in SI-Einheiten vor. Die Vernachlässigung des Druckeffektes läßt ein Ersetzen der Sigma-S,T,p -Werte durch Sigma-t zu und (2) wird zu

$$\Delta D = g((z_2 - z_1)28.13 - \int_{z_1}^{z_2} \sigma_t dz) / 1028 \quad (3)$$

Gleichung (3) wird durch Division mit 10 von $m^2 \text{sec}^{-1}$ in die traditionale Einheit dynm überführt und in dieser Form für die Berechnungen der dynamischen Topographien aus XBT-Temperaturen verwendet.

Die Temperaturen liegen für die XBT-Daten in 0.5°C -Intervallen vor, die entsprechenden Tiefenwerten zugeordnet sind. Zur Erzeugung mittlerer TS-Beziehungen wurden alle verfügbaren CTD-Messungen verwendet, deren geographische Positionen mit denen der XBT-Messungen übereinstimmten. Die Salzgehaltswerte wurden aus den CTD-Daten in 0.5°C -Intervalle gemittelt.

Statistisch liegen im Falle einer Gaußschen Normalverteilung 95.5% der Salzgehaltswerte innerhalb der doppelten Standardabweichung.

Im nächsten Berechnungsschritt werden die Salzgehaltswerte der mittleren TS-Beziehung den entsprechenden XBT-Isothermen und deren Tiefenwerten zugeordnet und durch lineare Interpolation für 50 m-Intervalle die Temperatur- und Salzgehaltswerte bis zur Tiefe von 800 m berechnet. Nach Fofonoff (1958) wurden aus diesen Temperatur- und Salzgehaltswerten die zugehörigen Sigma-t-Werte ermittelt.

Um die Berechnung der dynamischen Topographie auf Tiefen bis 1500 m zu erweitern, wird ein für 50 dbar-Intervalle gemitteltes Sigma-t-Profil (s.Kap.5.1) an das aus Temperatur- und Salzgehalten nach Fofonoff ermittelte Sigma-t-Profil angehängt. Für die Verwendung mittlerer Sigma-t-Profile sind sowohl die zu den TS-Beziehungen(s.o.) gehörenden Sigma-t-Werte, als auch historische Datensätze geeignet.

Die Verfahrensweise des Anhängens erfolgt durch eine "vertikale" Verschiebung des mittleren Sigma-t-Profils, bis es im Intervall 750-800 m mit dem gemessenen Sigma-t-Profil übereinstimmt(s.Abb.C). Diese Art der "Verschiebung" verändert aufgrund der geringen vertikalen Gradienten von Sigma-t in großen Tiefen den Massenaufbau zwischen 800 und 1500m nur geringfügig. Durch lineare Interpolation wird das mittlere Sigma-t-Profil in 50m-Intervalle auf den Tiefenbereich von 800 bis 1500 m ausgedehnt.



4. Flächenhafte Darstellung dynamischer Topographie

Als einleitendes Beispiel für den Vergleich der Auswahlen der dynamischen Tiefen aus XBT/TS- und CTD-Werten, stehen die Ergebnisse einer hydrographischen Expedition in einer mesoskaligen "Box" zur Verfügung.

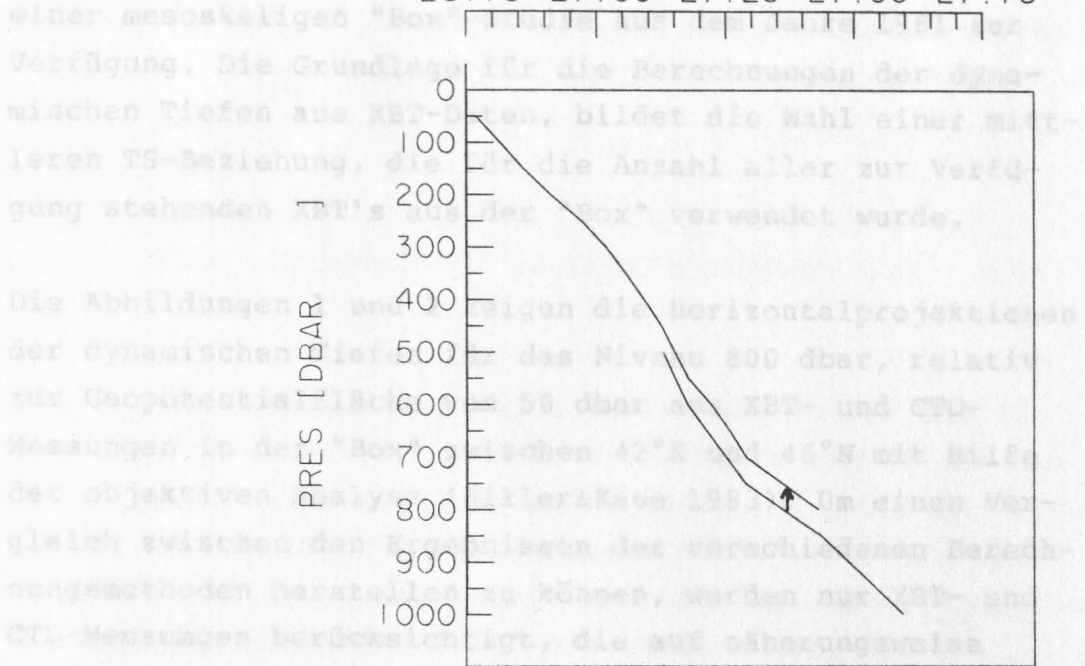


Abb.C Anhängen mittlerer Sigma-t-Profile durch vertikale Verschiebung bei 800 dbar

Die Abbildungen 1 und 2 zeigen die Horizontalprojektionen der dynamischen Tiefen auf das Niveau 800 dbar, relativ zur Geopotentialhöhe von 50 dbar. Die XBT- und CTD-Messungen in der "Box" zwischen 42°N und 45°N mit Hilfe der objektiven Analyse von Körtge (1982) im Vergleich zwischen den beiden verschiedenen Berechnungsmethoden herzustellen, wurden nur mit XBT- und CTD-Messungen herangezogen, die auf näherungsweise gleiche geographische Breiten erfolgten. Die maximale Entfernungsdifferenz betrug 1.9 km und die maximale Saltdifferenz 260 Miktonen.

Die verwendete TS-Beziehung wurde aus allen in der "Box" zur Verfügung stehenden (TS-Salzegehaltswerten) ermittelt. Diese mittlere TS-Beziehung (Abb. 3) zeigt eine minimale Standardabweichung bei 21°C mit 0.16‰ im Salzgehalt. Die minimale Standardabweichung beträgt 0.012‰ bei 4°C. Der Mittelwert der Standardabweichungen der Salzgehalte über den Temperaturbereich von 3.5°C bis 21.5°C beträgt 0.044‰, dessen Standardabweichung 0.022‰.

Aus den Abbildungen 1 und 2 wird ersichtlich, daß die räumlichen Strukturen der Werte der dynamischen Tiefen erhalten bleiben, daß jedoch die Werte der dynamischen

4. Flächenhafte Darstellung dynamischer Topographie

Als einleitendes Beispiel für den Vergleich der Anomalien der dynamischen Tiefen aus XBT/TS- und CTD-Werten, stehen die Ergebnisse einer hydrographischen Aufnahme im Rahmen einer mesoskaligen "Box"-Studie aus dem Jahre 1981 zur Verfügung. Die Grundlage für die Berechnungen der dynamischen Tiefen aus XBT-Daten, bildet die Wahl einer mittleren TS-Beziehung, die für die Anzahl aller zur Verfügung stehenden XBT's aus der "Box" verwendet wurde.

Die Abbildungen 1 und 2 zeigen die Horizontalprojektionen der dynamischen Tiefen für das Niveau 800 dbar, relativ zur Geopotentialfläche von 50 dbar aus XBT- und CTD-Messungen in der "Box" zwischen 42°N und 46°N mit Hilfe der objektiven Analyse (Hiller&Käse 1983). Um einen Vergleich zwischen den Ergebnissen der verschiedenen Berechnungsmethoden herstellen zu können, wurden nur XBT- und CTD-Messungen berücksichtigt, die auf näherungsweise gleichen geographischen Positionen und zu näherungsweise gleichen Zeiten erfolgten. Die maximale Entfernungsdifferenz betrug 1.9 sm und die maximale Zeitdifferenz 260 Minuten.

Die verwendete TS-Beziehung wurde aus allen in der "Box" zur Verfügung stehenden CTD-Salzgehaltswerten ermittelt. Diese mittlere TS-Beziehung (Abb.3) zeigt eine maximale Standardabweichung bei 21°C mit 0.101‰ im Salzgehalt. Die minimale Standardabweichung beträgt 0.012‰ bei 4°C. Der Mittelwert der Standardabweichungen des Salzgehaltes über den Temperaturbereich von 3.5 C bis 21.5 C beträgt 0.044‰, dessen Standardabweichung 0.022‰.

Aus den Abbildungen 1 und 2 wird ersichtlich, daß die räumlichen Strukturen der Werte der dynamischen Tiefen erhalten bleiben, daß jedoch die Werte der dynamischen

Tiefen nach der XBT/TS-Methode geringer sind. Beim Vergleich der Ergebnisse der unterschiedlichen Berechnungsmethoden, werden im weiteren Verlauf dieser Arbeit die Unterschiede mit Hilfe des "relativen Fehler" dargestellt. Bezeichnet man die aus CTD-Messungen resultierenden dynamischen Tiefen mit $\Delta D(\text{WAHR})$ und die aus XBT-Messungen berechneten mit $\Delta D(\text{XBT/TS})$, so wird der "relative Fehler" zu:

$$\delta D = (\Delta D(\text{XBT/TS}) - \Delta D(\text{WAHR})) / \Delta D(\text{WAHR}) \quad (1)$$

Abb.4 zeigt die Horizontalprojektion von δD für das Niveau 50/800 dbar. Beim Versuch, die Werte von δD auf die geographischen Bereiche hoher und geringer Werte der dynamischen Topographie zu übertragen, zeigt sich, daß der relative Fehler im Bereich von Werten geringer dynamischer Topographie bei $44^{\circ}30'N, 25^{\circ}30'W$ kleiner ist, als bei $44^{\circ}30'N, 28^{\circ}30'W$, wo hohe Werte dynamischer Topographie vorliegen. Dieses bestätigt sich auch für das Seegebiet bei $45^{\circ}30'N, 25^{\circ}30'W$. Für diesen Fall muss allerdings berücksichtigt werden, daß die Werte der Fehlervarianzen (Quadrat der Standardabweichung) zunehmen.

Gegensätzlich sind die Verhältnisse bei $43^{\circ}N, 28^{\circ}30'W$, wo zu Werten hoher dynamischer Topographie, die Werte des relativen Fehlers auf 0.0 abnehmen. Der umgekehrte Fall zeigt sich bei $43^{\circ}N, 30^{\circ}W$.

In den Abbildungen 5 und 6 sind die dynamischen Topographien der hydrographischen "Box" aus XBT- und CTD-Werten, bezogen auf die Geopotentialfläche von 50 dbar dargestellt. Das zur Erweiterung der Berechnungen auf 1500 dbar notwendige Sigma-t-Profil wurde aus allen CTD-Messungen der "Box" in 50 dbar-Intervallen für den Tiefenbereich von 500-2000 dbar

gemittelt. Die maximale Standardabweichung dieses Profils beträgt 0.056 kg/m^3 bei 700 dbar, während das Minimum mit 0.007 kg/m^3 zwischen 1700 und 1800 dbar liegt. Der Mittelwert der Standardabweichung beträgt über den gesamten Tiefenbereich 0.024 kg/m^3 , dessen Standardabweichung 0.019 kg/m^3 .

Die Darstellungen der dynamischen Topographie in 1500 dbar, zeigen wie für 800 dbar eine gute Übereinstimmung der räumlichen Strukturen der Anomalien der dynamischen Tiefen. Die relativen Fehler zwischen XBT- und CTD-Werten weisen bei 1500 dbar jedoch deutlich größere Werte als bei 800 dbar auf. Abb.8 zeigt die Horizontalprojektion von σ_D bei 1500 dbar, bezogen zur Geopotentialfläche von 50 dbar. In diesem Niveau lassen sich die Werte des relativen Fehlers nicht in geographische Bereiche hoher bzw. niedriger Werte dynamischer Topographie einordnen, wie dieses für das 800 dbar-Niveau teilweise möglich war. Der relative Fehler weist bei $43^\circ \text{ N}, 30^\circ \text{ W}$ und $44^\circ 30' \text{ N}, 28^\circ \text{ W}$ Maximalwerte auf, während die Minimalwerte bei $44^\circ \text{ N}, 25^\circ \text{ W}$ vorliegen.

Die Abb.9 zeigt die Tiefenabhängigkeit des mittleren relativen Fehlers. Es handelt sich hier um den Mittelwert des relativen Fehlers aus 45 XBT- und CTD-Werten in der hydrographischen "Box". Der Fehler weist von 50 bis ca. 450 dbar positive Werte auf, d.h., die Werte der aus XBT-Messungen berechneten dynamischen Tiefen sind höher, als die der CTD-Messungen. Ab 450 dbar ist der Fehler bis zur Endtiefe der Profile bei 1500 dbar negativ. Ab ca. 150 dbar weist die Fehlerkurve einen parabelförmigen Verlauf auf. Der abweichende Verlauf von der Kurve dieses parabelförmigen Charakters im Bereich von 50 bis 150 dbar, resultiert aus der Festlegung des Nullniveaus der Anomalie der dynamischen Tiefen bei 50 dbar.

Die Standardabweichung des mittleren relativen Fehlers weist im Bereich der Deckschicht ein Maximum auf, nimmt bis zur

Tiefe von 700 dbar stark ab und besitzt ein sekundäres Maximum zwischen 750 und 850 dbar. Dieser Bereich deckt sich mit dem des Anhängens des mittleren Sigma-t-Profis. Bis zur Tiefe von 1500 dbar erfolgt dann eine leichte Abnahme der Standardabweichung.

5. Untersuchungen zur Genauigkeit von dynamischen Topographien aus XBT-Daten

Dieses Kapitel soll in Anlehnung an das vorherige Kapitel einen systematischen Vergleich der Ergebnisse der verschiedenen Berechnungsmethoden (s.Kap.3) herstellen, den Einfluß möglicher Fehlerarten der verwendeten XBT-Sonden (Tiefen-, Temperaturfehler, etc.) und den Einfluß geographisch unterschiedlich angeordneter TS-Beziehungen und Sigma-t-Profile auf die Genauigkeit des XBT/TS-Verfahrens untersuchen. Zu den jeweiligen Abschnitten dieses Kapitels folgt eine Kurzbeschreibung der möglichen Fehlerarten.

Der Vergleich der Methoden bezieht sich auf XBT- und CTD-Messungen, deren Stationen geographisch annähernd auf die gleichen Positionen fallen. Die Anzahl dieser vergleichbaren Stationen eines hydrographischen Schnittes entlang des Mittelozeanischen Rückens von 40°N bis $51^{\circ}21'\text{N}$ beträgt 25. Die Stationen sind in Abständen von ca. 30 sm angeordnet. Die maximale Entfernungsdifferenz zwischen den Stationen beträgt 1.6 sm, die maximale Zeitdifferenz 95 Minuten.

Abb.10 zeigt als Referenzgröße für den Vergleich der dynamischen Tiefen aus XBT-Daten, die berechneten Werte aus CTD-Messungen in Form eines hydrographischen Schnittes. Es handelt sich um die Werte der Anomalie der dynamischen Tiefen als Funktion von Druck, Temperatur und Salzgehalt, bezogen auf die Geopotentialfläche von 50 dbar.

5.1 XBT/TS-Werte ohne Berücksichtigung von Fehlern

Die Abb.11 repräsentiert lediglich einen groben Überblick über die Anomalien der dynamischen Tiefen. Sie resultiert aus Berechnungen, in denen keine der aufgeführten Fehlermöglichkeiten berücksichtigt wurden. Die verwendete mittlere TS-Beziehung und deren Sigma-t-Profil umfaßt die ozeanographischen Parameter Temperatur und Salzgehalt des gesamten hydrographischen Schnittes von den Azoren bis zur Subpolarfront, beinhaltet sowohl mögliche Einschübe von Mittelmeerwasser im Bereich nördlich der Azoren, als auch den Einfluß subarktischer Wassermassen im Bereich der Subpolarfront.

Die Abb.12 zeigt die angewendete mittlere TS-Beziehung. Die maximale Standardabweichung des mittleren Salzgehaltes beträgt bei 7.5°C 0.163‰, das Minimum 0.006‰ bei 3.5°C. Der Mittelwert der Standardabweichungen beträgt 0.066‰, dessen Standardabweichung 0.056‰. Das zur Erweiterung der Berechnungen der Anomalien der dynamischen Tiefen verwendete Sigma-t-Profil (Abb.13), wurde, ebenso wie bei der Mittelung der TS-Beziehung, aus allen 25 zur Verfügung stehenden Sigma-t-Profilen der CTD-Messungen ermittelt. Das Profil zeigt ein Maximum der Standardabweichung im Bereich zwischen 500 und 800 dbar. Der Maximalwert liegt bei 600 dbar mit 0.156 kg/m³ und das Minimum mit 0.007 kg/m³ zwischen 1600 und 1800 dbar. Die mittlere Standardabweichung beträgt 0.057 kg/m³, deren Standardabweichung 0.061kg/m³.

Der Vergleich der Werte der dynamischen Tiefen, die in den Abb.10 und 11 dargestellt sind, bestätigen die Ergebnisse der hydrographischen "Box", wie sie im Kap.4 beschrieben worden sind. Die Abweichungen der Werte der dynamischen Tiefen aus den verschiedenen Methoden werden mit zunehmender Tiefe größer. Die Abb.14 zeigt den mittleren relativen Fehler δD , ermittelt aus dem Vergleich der 25 zur Verfügung

stehenden XBT- und CTD-Messungen. Der Fehler zeigt ab 200 dbar mit zunehmender Tiefe ansteigende negative Werte, während er im Tiefenbereich von 50 bis 200 dbar geringe positive Werte aufweist. Mit zunehmender Tiefe nehmen auch die Werte der Standardabweichung zu, verfügen aber im Bereich des Anhängens des mittleren Sigma-t-Profiles bei 800 dbar keine von diesem Verlauf abweichenden signifikanten Veränderungen.

Eine differenzierte Darstellung der unterschiedlichen Ergebnisse beider Methoden, zeigt die Abb.15, die den relativen Fehler als Schnitt von den Azoren bis zur Subpolarfront darstellt. Im Bereich zwischen 50 und 250 dbar handelt es sich überwiegend um relative Fehler mit positiven Werten, die dann mit zunehmender Tiefe negativ werden. Nur bei den Stationen 358,370 und 371 weisen die relativen Fehler bereits ab 50 dbar negative Werte auf. Die Isolinien der relativen Fehler erfahren mit zunehmender geographischer Breite einen Anstieg in geringere Druckniveaus. Starke horizontale Gradienten der relativen Fehler erkennt man bei den Stationen 353 und 361, die hier minimale Werte aufweisen, während bei den Stationen 358,364 und 370 maximale Werte der relativen Fehler erreicht werden. Die minimalen Werte erreichen bei der Station 353 -0.05 und im Bereich maximaler Werte bei der Station 370 -0.17 bei 1500 dbar.

Die Erklärung des Anstiegs der Isolinien der relativen Fehler mit zunehmender geographischer Breite, liegt in der großskalig gemittelten TS-Beziehung und deren mittleren Sigma-t-Profil. Die Horizontalskala des hydrographischen Schnittes beträgt von den Azoren bis zur Subpolarfront ca. 1300 km. Die relativ hohen Werte der Standardabweichung des Salzgehaltes der verwendeten mittleren TS-Beziehung machen deutlich, daß Einflüsse verschiedener charakteristischer Wassermassen in die TS-Beziehung eingehen. Im südlichen Teil des Schnittes ist aus der Abb.16 der Einschub von Mittelmeerwasser im Tiefenbereich von 900-1000 dbar bei den Stationen 353-355 erkennbar, während der

nördliche Teil des Schnittes, im Gebiet des subpolaren Frontalbereichs gelegen, im Einflußbereich subpolarer Wassermassen liegt.

Die Einflüsse der Vorkommen verschiedener charakteristischer Wassermassen, werden durch den stark horizontal gemittelten Charakter der TS-Beziehung nicht berücksichtigt. Somit wird für den südlichen Teil des Schnittes die Zuordnung zu geringer Salzgehaltswerte zu den Temperaturen bewirkt, während der Fall für den nördlichen Bereich umgekehrt ist. Dieses läßt für die hydrographischen Verhältnisse des Schnittes im Süden relativ zu hohe Werte der Anomalien der dynamischen Tiefen und analog für den nördlichen Teil relativ zu geringe Werte erwarten, was sich durch die Darstellung der Abb.11 bestätigt.

Die Abb.17 stellt die Sigma-t-Profile der Station 353 aus XBT- und CTD-Messungen dar. Die minimalen Werte des relativen Fehlers bei der Station 353 resultieren aus dem stark abweichenden Verlauf des Sigma-t-Profiles aus den XBT-Messungen im Vergleich zu den CTD-Messungen. Die größten Abweichungen zeigen sich im Bereich von 900-1100 dbar, in dem Einschübe von Mittelmeerwasser registriert werden (Abb.16). Das XBT-Sigma-t-Profil weist von 50-1500 dbar durchgehend geringere Werte im Vergleich zum CTD-Sigma-t-Profil auf, was mit der Berechnung der XBT/TS-Methode nach Formel 3.2.3 zu relativ zu hohen Werten der Anomalien der dynamischen Tiefen führt.

Die Abb.18 zeigt die entsprechenden Sigma-t-Profile bei der Station 370, wo umgekehrte Verhältnisse als bei der Station 353 zu beobachten sind. Hier resultieren die Unterschiede der Sigma-t-Profile aus den Abweichungen, die sich durch den Vergleich der mittleren TS-Beziehung und der Original TS-Beziehung der Station 370 ergeben, wie sie in der Abb.19 gezeigt werden. Die Abweichungen der Sigma-t-Profile zeigen sich hauptsächlich im Bereich von 250-800 dbar. Die Ursache liegt in der Zuordnung relativ zu hoher Salzgehaltswerte zu den gemessenen XBT-Temperaturen, was im Zu-

sammenhang mit den resultierenden Sigma-t-Werten zu relativ zu geringen Werten dynamischer Tiefen führt.

Bei den bisherigen Betrachtungen wurden beim Vergleich zwischen den Anomalien der dynamischen Tiefen aus der XBT/TS-Methode und den wahren dynamischen Topographien nur der relative Fehler betrachtet. Um Aussagen über die Abweichungen in Einheiten dynamischer Topographie treffen zu können, wurde folgende Aufstellung erstellt:

Tab.1:

Druck [dbar]	Bereich Anomalie d. dyn. Tiefen [dynm] I	Fehlerbereich MW +STDV [dynm] II	Fehlerbereich aus Einzelauswertung [dynm] III
100	0.045 - 0.064	-.0010 - .0010	-.0015 - .0020
200	0.134 - 0.170	-.0025 - .0030	-.0055 - .0052
300	0.220 - 0.313	-.0094 - .0011	-.0123 - .0057
400	0.296 - 0.428	-.0199 - .0025	-.0235 - .0018
500	0.361 - 0.536	-.0341 - -.0064	-.0391 - -.0051
600	0.416 - 0.638	-.0496 - -.0113	-.0534 - -.0080
800	0.515 - 0.821	-.0850 - -.0218	-.0777 - -.0223
1000	0.607 - 0.985	-.1204 - -.0347	-.1004 - -.0323
1200	0.697 - 1.130	-.1544 - -.0483	-.1210 - -.0410
1500	0.833 - 1.301	-.2014 - -.0735	-.1619 - -.0655

Spalte I der Tab.1 gibt die Extremwerte der Anomalie der dynamischen Tiefen für die angegebenen Geopotentialflächen des hydrographischen Schnittes an. Der Fehlerbereich des Mittelwertes und dessen Standardabweichung in Spalte II stellen die Anwendung des mittleren relativen Fehlers zuzüglich der Standardabweichung (Abb.14) auf die Extremwerte des Bereiches der dynamischen Tiefen dar. Spalte III gibt den tatsächlichen Fehlerbereich der mit der XBT/TS-Methode berechneten dynamischen Tiefen an.

5.2. XBT/TS-Werte unter Berücksichtigung von Temperatur- und Tiefenfehler der XBT-Sonden

5.2.1. Temperaturfehler

Bei Messungen mit XBT-Sonden ist der typische Fehler für die Temperatur ± 0.1 C (Sippican,1970)

5.2.2. Tiefenfehler

Die gemessenen XBT-Temperaturen werden als analoges Signal auf speziell gefertigtes Papier als Funktion der Tiefe D aufgezeichnet. Die von Sippican(1970) zur Tiefenberechnung angegebene Formel

$$D = 6.472t - 0.00216t^2 \quad (1)$$

findet mit ihrer nichtlinearen Form Berücksichtigung in der Anordnung der Tiefenachse auf dem Aufzeichnungspapier. D ist die Tiefe in m und t die benötigte Meßzeit in Sekunden. Die gemessenen Temperaturen werden über einen, mit konstanter Vorschubgeschwindigkeit gesteuerten Papiervorschub den entsprechenden Tiefenwerten zugeordnet. Abweichungen von der Konstanz dieser Vorschubgeschwindigkeit verursachen eine entsprechend ungenaue Zuordnung der Tiefenwerte nach Formel 1 zu den Temperaturen. Derartige, unsystematische Abweichungen wurden u.a. bei dem Analogaufzeichnungsgerät, das während der 104.Poseidonreise im Einsatz war, beobachtet.

Eine vergleichende Untersuchung der Tiefenlage der 14°C - bzw. 10°C -Isotherme aus XBT-und CTD-Messeungen ergaben Differenzen (Fahrbach et al.1982),die die o.g. Fehlermöglichkeiten zur Ursache haben könnten.

Darüber hinaus können weitere Fehlerfaktoren einen Einfluß auf die Tiefenermittlung der XBT-Sonden ausüben: Die auf eine XBT-Sonde wirkende Reibungskraft ist von der Fallgeschwindigkeit (w), der kinematischen Viskosität (ν) des Meerwassers und der äußeren Form der XBT-Sonde abhängig (Green, 1983).

Die Reynoldszahl (R) ist ein guter Parameter, der die o.g. physikalischen Eigenschaften in Bezug auf die Reibungskraft beschreibt. Green ermittelte für turbulente Verhältnisse ($R \sim 10^6$) folgende Beziehung für die Reibungskraft:

$$F(z) = \frac{1}{2} c_D A \rho_w w^2 \quad (2)$$

c_D = Reibungskoeffizient als Funktion der Reynoldszahl

A = Querschnittsfläche des XBT

ρ_w = Dichte des Meerwassers

Die auf ein XBT wirkende Reibungskraft wird durch die Auftriebskraft balanciert.

$$B = - G(M - M_w) \quad (3)$$

G = Gravitationskonstante

M = Masse des XBT

M_w = verdrängte Wassermasse

Die Variation der Dichte des Meerwassers über den Tiefenbereich der XBT kann bei diesen dynamischen Betrachtungen vernachlässigt werden, jedoch ist die Variation der verdräng-

ten Wassermasse als Funktion der Tiefe signifikant. Der ab-
gespulte Kupferdraht eines XBT wird durch Meerwasser ersetzt,
so daß die Masse des XBT mit zunehmender Tiefe abnimmt.
Green schätzte die Massenabnahme über den gesamten Tiefen-
bereich eines XBT mit 68-70g oder 10% der Anfangsmasse (M_0) ab.
Eine Näherung des Massenverlustes als Funktion der Tiefe wird
von Green durch

$$M(z) = M_0(1 + az) \text{ mit } a = M_0^{-1} \frac{dM}{dz} \quad (4)$$

angegeben, wobei z negativ ist.

$$M_0 = 0.738 \text{ kg}$$

$$a = 1.26 \times 10^{-4} \text{ m}^{-1}$$

Die Kombination aus Reibungs- und Auftriebskraft ergibt eine
Balance der vertikalen Kraftkomponente des XBT. Die vertikale
Beschleunigung ergibt sich aus

$$\frac{d^2z}{dt^2} = \frac{1}{2} M^{-1} \rho_w c_D A_w^2 - G(1 - M_w M^{-1}) \quad (5)$$

Der Massenverlust des XBT bewirkt eine Zunahme der Auftriebs-
kraft, deren Effekt durch die Zunahme des Reibungskoeffizienten
 c_D mit der Tiefe noch verstärkt wird. Die Zunahme der Reibungs-
und Auftriebskraft bewirkt eine geringfügige Abnahme der Verti-
kalgeschwindigkeit der XBT.

Green konnte außerdem zeigen, daß die Vertikalgeschwindigkeit
von der Anfangsgeschwindigkeit (V_0) eines XBT abhängig ist. Diese
Abhängigkeit kann durch die Orientierung der XBT-Achse relativ
zur Meeresoberfläche, der Form der Meeresoberfläche und der
Höhendifferenz des XBT-Abwurfstandpunktes zur Meeresoberfläche
verursacht werden.

Um den Einfluß der beschriebenen Temperatur- und Tiefenfehler der XBT-Sonden auf die Berechnung der Anomalien der dynamischen Tiefen zu bestimmen, werden für die XBT/TS-Methode die CTD-Isothermentiefen der 25 Vergleichsstationen des hydrographischen Schnittes verwendet. Die TS-Beziehung und deren entsprechendes mittleres Sigma-t-Profil sind mit denen aus dem Kap.5.1 identisch. Die Verwendung dieser CTD-Isothermentiefen kann allerdings keine differenzierten Aussagen über die Einzelwerte der Temperatur- bzw. Tiefenfehler auf den Einfluß der dynamischen Topographie machen, sondern nur den Effekt als Kombination aus beiden Fehlerarten beschreiben.

Die Abb.20 zeigt die mittleren Temperatur des hydrographischen Schnittes zwischen XBT- und CTD-Temperaturen in Abhängigkeit der Tiefe. Die Differenzen nehmen ab 100 dbar negative Werte an. Die Temperaturdifferenz fällt bis 350 dbar von ca. 0.0°C auf ca. -0.25°C und zeigt dann bis zur maximalen Meßtiefe der XBT nur geringfügige Abweichungen von diesem Wert.

In der Abb.21 sind die Temperaturdifferenzen der einzelnen Stationen des hydrographischen Schnittes dargestellt. Der Verlauf der Linien gleicher Temperaturdifferenzen zeigt einen ungewöhnlich unsystematischen Verlauf. Die Werte sind überwiegend negativ, lediglich im Tiefenbereich zwischen 50 und 200 dbar sind Vorkommen positiver Temperaturdifferenzen zu verzeichnen. Dieses Vorkommen negativer Temperaturdifferenzen hat auf die Berechnungen der Anomalien der dynamischen Tiefen folgenden Einfluß: Relativ zu niedrige Temperaturen ergeben relativ zu hohe Sigma-t-Werte, was damit nach Gl.3.2.3 zu relativ zu niedrigen Werten der Anomalien der dynamischen Tiefen führt. Bei der Darstellung der Temperaturdifferenzen (Abb.21) ist von diesen Aussagen nur bei der Station 353 abzuweichen, bei der ungewöhnlich hohe positive Differenzen ($>0.2^{\circ}\text{C}$) ab 350 dbar zu verzeichnen sind. Die Werte der Anomalien der dynamischen Tiefen sind für diese Station daher relativ zu hoch.

In der Abb.22 sind die Werte der Anomalien der dynamischen Tiefen unter Berücksichtigung der CTD-Temperaturen als Schnitt, relativ zur 50dbar-Geopotentialfläche dargestellt. Im Vergleich zur Abb. 11 wird deutlich, daß die Tiefenlagen der Isolinien im Bereich von 0 bis 0.5 dynm fast identisch verlaufen, ab der 0.5-Isolinie allerdings in geringeren Tiefen anzutreffen sind. Beim Vergleich mit den aus CTD-Messungen berechneten dynamischen Tiefen bleiben die Strukturen der Anomalien der dynamischen Tiefen in Bezug auf ihre geographische Zuordnung erhalten. Es zeigt sich allerdings, daß die Isolinien der wahren dynamischen Topographien in Bereichen geringeren Drucks vorzufinden sind.

Die Abb.23 zeigt den mittleren relativen Fehler nach Anwendung der CTD-Temperaturen mit der XBT/TS-Methode. Der Verlauf dieser Kurve zeigt im Bereich zwischen 50 und 800 dbar einen schwächeren vertikalen Gradienten, als zum Vergleich die Fehlerdarstellung der XBT-Originaltemperaturen der Abb.14. Die Verwendung der CTD-Temperaturen und die damit verbundene Korrektur der Tiefen- und Temperaturfehler der XBT, führen zu einer Abnahme des mittleren relativen Fehler um ca. 0.014 bis zur Tiefe von 800 dbar. Im Bereich von 800 bis 1500 dbar weist der relative Fehler einen um diesen Betrag verringerten Wert auf.

Die horizontale Verteilung der relativen Fehler zeigt die Abb.24. Gegenüber der Darstellung des relativen Fehlers der Abb.15, ist ein deutliche Glättung des Fehlerbildes zu erkennen. Der Verlauf der Fehlerlinien zeigt aber weiterhin einen Anstieg der Fehlerwerte mit zunehmender geographischer Breite. Lediglich für die Station 353 zeigt sich ein starker Anstieg des relativen Fehlers, was die unmittelbare Folge der Korrektur der ungewöhnlich hohen positiven Temperaturdifferenzen (s.Abb.21) ist.

Die Vorzeichen der relativen Fehler zeigen keine Abweichungen von den bisherigen Darstellungen. Im Bereich von 50 bis 250 dbar handelt es sich weiterhin überwiegend um positive Werte, die ab dieser Tiefe in negative Werte übergehen.

Auf die vergleichende Darstellung der Ergebnisse für einzelne Stationen, wie sie im Kap.5.1 vorgenommen wurden, soll hier verzichtet werden, da die in der Abb.24 dargestellten Fehler nur im Bereich der Stationen 352-354 wesentliche Abweichungen zu denen der Abb.15 zeigen, deren Ursachen aber bereits o.g. worden sind.

Die Fehlerbereiche in Einheiten dynamischer Topographie sind in der nachfolgenden Tab.2 aufgestellt.

Tab.2:

Druck [dbar]	Bereich Anomalie dyn. Topographie [dynm]	Fehlerbereich MW +Standardabw. [dynm]	Fehlerbereich aus Einzelauswertung [dynm]
	I	II	III
100	0.045 - 0.064	-.0004 - 0.0017	-.0014 - 0.0021
200	0.134 - 0.170	-.0018 - 0.0025	-.0049 - 0.0054
300	0.220 - 0.313	-.0076 - 0.0014	-.0114 - 0.0059
400	0.296 - 0.428	-.0165 - -.0010	-.0205 - 0.0031
500	0.361 - 0.536	-.0282 - -.0039	-.0329 - -.0025
600	0.416 - 0.638	-.0419 - -.0079	-.0456 - -.0081
800	0.515 - 0.821	-.0718 - -.0158	-.0671 - -.0161
1000	0.607 - 0.985	-.1049 - -.0264	-.0889 - -.0299
1200	0.697 - 1.130	-.1372 - -.0383	-.1090 - -.0431
1500	0.833 - 1.301	-.1832 - -.0620	-.1435 - -.0711

Aus dem Vergleich der Werte in Spalte III der Tabellen 1 und 2 wird ersichtlich, daß die Abweichungen der Anomalien der dynamischen Tiefen durch Korrektur der Temperatur- und Tiefenfehler der XBT bis zum Tiefenbereich von 300 dbar nur geringfügige Änderungen bewirken, sich aber bis zur Tiefe von 800 dbar um 0.01 dynm verringern können und bis zur Endtiefe des Vergleiches bei 1500 dbar um ca. 0.02 dynm abnehmen können.

5.3. XBT/TS-Methode unter Verwendung lokaler TS-Beziehungen

In diesem Abschnitt sollen die Fehler der Anomalien der dynamischen Tiefen in Abhängigkeit der Genauigkeit der gewählten mittleren TS-Beziehungen untersucht werden. Ein Maß für die Genauigkeit der TS-Beziehungen ist durch deren Standardabweichung angegeben.

Für die Berechnungen in den Kapiteln 5.1 und 5.2 wurde eine TS-Beziehung gewählt, deren mittlerer Salzgehalt über eine Horizontalskala von ca. 1300 km in annähernd meridionaler Ausrichtung von den Azoren bis zur Subpolarfront erstreckt war. Durch die Wahl dieser TS-Beziehung konnte der Einfluß der unterschiedlichen charakteristischen Wassermassen aus dem Bereich der Subtropen, der Subarktik oder des Mittelmeerwassers nicht genau aufgelöst werden. Zu diesem Zweck wurden mittlere TS-Beziehungen gewählt, die durch eine erhebliche Verringerung der Horizontalskala den Einfluß dieser Wassermassen berücksichtigt.

Die Erstellung der TS-Beziehungen wurde durch folgende CTD-Stationen realisiert:

TS SÜD	40° 'N,26° 5'W	-	44° N,26° 5'W
TS MITTE	44°29'N,26° 5'W	-	47° N,26° 5'W
TS NORD	47°30'N,26° 5'W	-	51°45'N,29°51'W

Für die TS-Beziehungen gelten folgende Angaben zur Genauigkeit:

	Max.STDV bei °C [‰]	Min.STDV bei °C [‰]	MW STDV I [‰]	STDV v.I II [‰]
TS SÜD	.071 9	.006 11.5	.027	.020
TS MITTE	.080 7	.005 12	.039	.022
TS NORD	.079 6	.005 3.5	.026	.018

Die Abb.25-27 zeigen die lokalen mittleren TS-Beziehungen. Entsprechend der gewählten TS-Beziehungen, wurde auch die Genauigkeit der mittleren Sigma-t-Profile (Abb.28-30) erhöht, indem die Werte aus den Stationen ermittelt wurden, aus denen auch die TS-Beziehungen erstellt wurden.

	Max.STDV bei dbar [kg/m ³]	Min.STDV bei dbar [kg/m ³]	MW STDV I [kg/m ³]	STDV v.I II [kg/m ³]
Sigma-t				
TS SÜD	.065 900	.007 1900	.029	.022
Sigma-t				
TS MITTE	.117 700	.003 1800	.041	.046
Sigma-t				
TS NORD	.154 500	.006 1900	.037	.049

In der Abb.31 sind die Werte der Anomalie der dynamischen Tiefen unter Berücksichtigung der o.g. TS-Beziehungen, Sigma-t-Profile und der CTD-Isothermentiefen dargestellt. Die Abbildung zeigt im Vergleich mit der Abb.10(dynamische Tiefen aus CTD-Messungen), daß die Strukturen der dynamischen Tiefen aus der XBT/TS-Methode gut wiedergegeben werden, daß jedoch auch die Verwendung lokal besser definierter TS-Beziehungen zu Unterschieden in den Werten führt.

Die Darstellung des mittleren relativen Fehler in der Abb.32 zeigt eine geringere Tiefenabhängigkeit, als dieses für den mittleren relativen Fehler unter Verwendung der Gesamt-TS-Beziehung und der CTD-Temperaturen (Abb.23) der Fall ist. Der Fehler zeigt zwischen 50 und ca.300 dbar positive Werte. Ab ca. 300 dbar wird der Fehler negativ und nimmt bis zur Tiefe von 1500 dbar stetig zu. Bis zur maximalen Meßtiefe der XBT von 800 dbar, hat der Fehler aus der Berechnung mit den lokalen TS-Beziehungen (SÜD,MITTE,NORD) im Vergleich zur Berechnung mit der Gesamt-TS-Beziehung um ca. 0.025 abgenommen, während die Abnahme bei 1500 dbar noch ca. 0.013 beträgt. Für die Standardabweichungen gilt, daß beim Berechnungsfall mit den drei lokalen TS-Beziehungen, die Standardabweichungen für den gesamten Tiefenbereich von 50 bis 1500 dbar deutlich geringer sind. Im Bereich zwischen 400 und 800 dbar hat die Standardabweichung um über 50% vom Fehler aus den Berechnungen mit einer Gesamt-TS-Beziehung abgenommen.

In der Abb.33 sind die relativen Fehler der Vergleichsstationen als Schnitt dargestellt. Gegenüber der Abb.24 zeigt dieses Fehlerfeld eine erhebliche Abnahme der Werte über den gesamten Schnitt. Der Verlauf der Fehlerlinien zeigt eine Abnahme des relativen Fehlers mit zunehmender geographischer Breite. Abweichungen von diesem Verlauf werden bei den Stationen 354 mit maximalen Fehlerwerten deutlich. Die Vorzeichen der relativen Fehler zeigen von den bisherigen Darstellungen keine Abweichung: im Bereich zwischen 50 und 250 dbar sind die Werte überwiegend positiv, während ab 250 dbar der Fehler mit der Tiefe zunehmende negative Werte annimmt.

Der Vergleich der Sigma-t-Profile aus XBT- und CTD-Messungen für die Station 354 wird durch die Abb.34 repräsentiert. Die Profile zeigen bis zur Tiefe von 700 dbar gute Übereinstimmung, ergeben aber für den Bereich zwischen 750 und 1200 dbar Differenzen bis zu 0.1kg/m^3 . Die Station 354 liegt im Bereich der TS-Beziehung SÜD, die bei ihrer Mittelung Stationen mit unter-



schiedlich starken Mittelmeerwassereinschüben umfassen. Durch den mittleren Charakter dieser Beziehung werden daher den Stationen, bei denen dieses nur schwach oder überhaupt nicht ausgeprägt ist, relativ zu hohe Salzgehaltswerte zu den entsprechenden Temperaturen zugeordnet, wie dieses auch für die Station 354 der Fall ist. Die Folge ist ein starkes Abweichen des XBT/TS-Sigma-t-Profiles von dem Sigma-t-Profil der CTD-Werte, wie dieses in der Abb.34 deutlich wird.

Für die geringen relativen Fehler der Station 353 ist schon aus Kap.5.1 bekannt, daß es sich hierbei um eine Station mit einem starken Mittelmeerwassersignal handelt. Der mittlere Charakter der TS-Beziehung bewirkt daher eine Zuordnung relativ zu geringer Salzgehaltswerte zu den Temperaturen.

Der Vergleich der Sigma-t-Profile der Station 362 macht deutlich, daß das mit der XBT/TS-Methode ermittelte Sigma-t-Profil außer im Bereich von 500-800dbar, gut mit dem Profil aus CTD-Messungen übereinstimmt. Die Ursache für diese Abweichungen liegen in der Zuordnung nicht hinreichend genauer Salzgehaltswerte der Beziehung TS NORD. Aus den relativ zu niedrigen Sigma-t-Werten der XBT/TS-Methode ergaben sich relativ zu hohe Werte dynamischer Tiefen, was die relativ niedrigen Fehlerwerte zur Folge hat. Diese Aussagen bestätigen sich durch die Salzgehaltsprofile der XBT/TS- und CTD-Auswertungen. Die geographische Position der Station 362 liegt am südlichen Rand der TS-Beziehung NORD. Die relativ hohen Differenzen im Salzgehalt zwischen 500 und 800 dbar, resultieren aus dem Einfluß salzarmer subarktischer Wassermassen auf die TS-Beziehung NORD.

Die Tabelle 3 zeigt die Fehlerwerte der Anomalie der dynamischen Tiefen in dynamischen Metern unter Berücksichtigung von CTD-Temperaturen und den lokal geltenden TS-Beziehungen.

Tab.3:

Druck [dbar]	Bereich Anomalie dynamisch.Tiefen [dynm] I	Fehlerbereich MW +Standardabweich. [dynm] II	Fehlerbereich aus Einzelauswertung [dynm] III
100	0.045 - 0.064	0.0001 - 0.0020	-.0006 - 0.0024
200	0.134 - 0.170	0.0002 - 0.0032	-.0011 - 0.0054
300	0.220 - 0.313	-.0027 - 0.0016	-.0035 - 0.0060
400	0.296 - 0.428	-.0080 - -.0011	-.0100 - 0.0031
500	0.361 - 0.536	-.0140 - -.0031	-.0181 - -.0001
600	0.416 - 0.638	-.0203 - -.0080	-.0231 - -.0007
800	0.515 - 0.821	-.0370 - -.0115	-.0412 - -.0073
1000	0.607 - 0.985	-.0671 - -.0231	-.0808 - -.0189
1200	0.697 - 1.130	-.1003 - -.0374	-.1245 - -.0352
1500	0.833 - 1.301	-.1460 - -.0638	-.1769 - -.0638

Die Verwendung der lokal geltenden TS-Beziehungen in Verbindung mit CTD-Temperaturen, bewirken bis zur Tiefe von 1000 dbar einen deutlichen Rückgang der Fehlerwerte im Vergleich zu der Fehlerbetrachtung der Tab.2. Ab 1000 dbar zeigen die Fehlerbereiche aus den Einzelauswertungen (III) höhere Werte, was aber ausschließlich auf die Verhältnisse der Station 354 (s.o.) zurückzuführen ist.

5.4. XBT/TS-Methode mit systematischem Fehler und Interpolations- und Extrapolationsfehlern

Die für die XBT/TS-Methode verwendeten Temperatur- und Salzgehaltswerte werden aus den vorliegenden 0.5°C-Isothermentiefenlagen und deren zur TS-Beziehungen gehörenden Salzgehalten entnommen. Durch Inter- bzw. Extrapolation der Werte in konstante Tiefenintervalle von 50 dbar für den Tiefenbereich von 50 bis 800 dbar, können entsprechende Fehler bei der Zuordnung der Temperatur- und Salzgehaltswerte entstehen. Entsprechendes gilt auch für die Interpolation der Sigma-t-Werte zwischen 800 und 1500 dbar, die ebenfalls in 50 dbar-Intervallen vorliegen. Weiterhin galt es zu untersuchen, ob durch die Verwendung des druckunabhängigen Parameters Sigma-t für die Berechnung der Anomalien der dynamischen Tiefen systematische Fehler auftraten.

Zu diesem Zweck sind neben den CTD-Temperaturen zusätzlich die gemessenen CTD-Salzgehaltswerte der Vergleichsstationen für die Berechnungen nach der XBT/TS-Methode verwendet worden. Darüber hinaus werden auch die entsprechenden Sigma-t-Werte der CTD-Vergleichsstationen für die XBT/TS-Methode von 800 bis 1500 dbar verwendet. Durch die Verwendung der Original-CTD-Werte ergeben sich weitere Aufschlüsse über das Maß der Genauigkeit der drei lokalen TS-Beziehungen für die Berechnungen der Anomalien der dynamischen Tiefen.

Die Werte dieser Anomalien der dynamischen Tiefen sind in der Abb.37 dargestellt. Der Vergleich mit denen im Kap.5.3 berechneten Werten macht deutlich, daß es durch Anwendung von Original-CTD-Werten nur zu geringfügigen Änderungen der Tiefenlagen der Isolinien dynamischer Tiefen führt, die sich hauptsächlich auf den Bereich der Stationen 352-355 beschränken.

Der mittlere relative Fehler, repräsentiert durch die Abb. 38, zeigt im Vergleich zum Fehler der Abb.32, nur vernachlässigbare kleine Abweichungen. Die Standardabweichungen zeigen im Bereich zwischen 50 und 800 dbar eine sehr gute Übereinstimmung. Die für die einzelnen Stationen verwendeten Sigma-t-Profile aus den CTD-Messungen, bewirken eine Abschwächung des Gradienten der Standardabweichung, die bis in 1500 dbar die Standardabweichungen um ca.25% senkt.

Den relativen Fehler als Schnitt zeigt die Abb.39, in der die Werte in den oberen 250 dbar überwiegend positiv sind, dann aber mit der Tiefe zunehmend negativ werden. Der Verlauf der Fehlerlinien zeigt im Bereich von 50 bis 750 dbar eine unregelmässige Form, während ab dieser Tiefe die Linien den Trend zeigen, parallel zu verlaufen. Die Tiefenlagen der Fehlerlinien weisen zwischen den Stationen 347 und 356 deutlich geringere Werte als zwischen den Stationen 357 und 371 auf, d.h., die relativen Fehler zeigen auf dem Schnitt von den Azoren bis zur Subpolarfront die Tendenz, mit zunehmender geographischer Breite abzunehmen. Eine eindeutige Trennung dieser Bereiche, lassen die hohen Werte der horizontalen Fehlergradienten zwischen den Stationen 356 und 357 erkennen.

Die Ursache der Abhängigkeit der relativen Fehler von der geographischen Position, liegt in der Variabilität des Massenaufbaus des Ozeans. Der Verlauf der Fehlerlinien in Abb.39 zeigt für den Tiefenbereich von 700 bis 1500 dbar eine negative Korrelation mit dem Dichtefeld der Abb.40, d.h., daß die relativen Fehler auf konstanten Geopotentialflächen mit zunehmenden Sigma-t-Werten geringer werden. Für den Schnitt zwischen Azoren und der Subpolarfront hat diese geographische Abhängigkeit folgende Auswirkungen: die relativen Fehler der Anomalie der dynamischen Tiefen aus der XBT/TS-Methode sind im Bereich der Subpolarfront, in dem die Isopyknen in Niveaus geringeren Drucks aufsteigen, geringer, als im Bereich der Azoren.

Analog erhält man eine schwächere positive Korrelation zwischen dem Temperaturfeld (Abb.41) und dem relativen Fehler, d.h., daß die relativen Fehler auf konstanten Geopotentialflächen mit abnehmenden Temperaturen geringer werden. Die Abb.42-47 zeigen die Zusammenhänge zwischen dem Dichte- bzw. Temperaturfeld und dem relativen Fehlern für ausgesuchte Geopotentialflächen.

Der systematische Fehler der XBT/TS-Methode wird verursacht durch die Verwendung des druckunabhängigen Parameters σ_t für die Berechnung der Anomalien der dynamischen Tiefen, in der der Einfluß der Kompressibilität des Meerwassers auf die Dichte unberücksichtigt bleibt. Durch die Darstellung des mittleren relativen Fehlers (Abb.38) wird ersichtlich, daß der systematische Fehler tiefenabhängig ist.

Ekman (1908) entwickelte eine empirische Formel, die die mittlere Kompressibilität des Meerwassers in Zusammenhang mit dem spezifischen Volumen in Abhängigkeit des Druckes definiert.

$$\alpha_{S,T,p} = \alpha_{S,T,0} (1 - k_p) \quad (1)$$

Die Kompressibilität k des Meerwassers nimmt mit steigendem Druck, steigender Temperatur und steigendem Salzgehalt ab. Tabellen zur Korrektur findet man bei Neumann, Pierson (1966).

Der relative Fehler der dynamischen Tiefen wird durch die Gl.4.1 beschrieben. Durch Einsetzen von Gl.(1) in Gl.4.1 für ΔD_{wahr} , wird Gl.4.1 zu:

$$f_D = \frac{\Delta^D_{XBT/TS} - \int \alpha_{S,T,0}(1 - k_p)dp}{\int \alpha_{S,T,0}(1 - k_p)dp} \quad (2)$$

Mit $k = k(T,S,p)$ wird deutlich, daß der Term k_p als Funktion von Temperatur, Salzgehalt und Druck den Wert des Integrals verändert, wobei die Abhängigkeit vom Salzgehalt nur gering ist. Die Abhängigkeit der Kompressibilität k vom Druck, verursacht die Tiefenabhängigkeit der relativen Fehler der Anomalie der dynamischen Tiefen. Betrachtet man den Term k_p für konstante Geopotentialflächen, so wird dieser Term kleiner, wenn die Temperatur zunimmt. Für den Massenaufbau zwischen den Azoren und der Subpolarfront hat die Abhängigkeit des Kompressibilitätskoeffizienten von der Temperatur folgende Auswirkungen: der relative Fehler weist im Bereich der Azoren aufgrund höherer Temperaturwerte höhere Werte auf als für den Bereich der Subpolarfront, in dem die Kompressibilität des Meerwassers in Folge niedrigerer Temperaturwerte zu geringeren Werten der relativen Fehler führt.

In der Tab.4 sind die Fehlerbereiche der Anomalien der dynamischen Tiefen unter Berücksichtigung der CTD-Temperaturen und Salzgehaltswerte aufgeführt.

Druck [dbar]	Bereich Anomalie dynamisch.Tiefen [dynm] I	Fehlerbereich MW +Standardabweich. [dynm] II	Fehlerber. aus Einzelauswertung [dynm] III
100	0.045 - 0.064	0.0005 - 0.0019	0.0002 - 0.0023
200	0.134 - 0.170	0.0004 - 0.0033	-.0003 - 0.0041
300	0.220 - 0.313	-.0029 - 0.0014	-.0039 - 0.0033
400	0.296 - 0.428	-.0086 - -.0018	-.0098 - 0.0017
500	0.361 - 0.536	-.0141 - -.0022	-.0174 - 0.0022
600	0.416 - 0.638	-.0208 - -.0039	-.0218 - 0.0008
800	0.515 - 0.821	-.0358 - -.0108	-.0420 - -.0082
1000	0.667 - 0.985	-.0626 - -.0242	-.0724 - -.0228
1200	0.697 - 1.130	-.0951 - -.0396	-.1067 - -.0395
1500	0.833 - 1.301	-.1400 - -.0668	-.1510 - -.0707

Tab.4:

Die Fehlerbereiche der Tab.3, bei denen zur Berechnung der dynamischen Tiefen die CTD-Temperaturen und 3 gültige TS-Bezieh-

ungen verwendet wurden, zeigen im Vergleich zur Tab.4, bei denen der Fehlerbereich ausschließlich durch systematische Fehler sowie Inter-und Extrapolationsfehler geprägt ist, für den Bereich 100-1000 dbar sehr gute Übereinstimmung. Im Bereich von 1000-1500, in dem im Bereich nördlich der Azoren Einschübe von Mittelmeerwasser erheblichen Einfluß auf den Massenaufbau des Ozeans ausüben, sind die Fehlerwerte bei der Verwendung der drei lokal gemittelten TS-Beziehungen bis 0.025 dynm höher.

6. Volumentransporte

Dieses Kapitel stellt als Anwendung der berechneten Anomalien der dynamischen Tiefen die Volumentransporte dar. Im Gegensatz zu den Betrachtungen der dynamischen Tiefen als Vergleich zwischen den Ergebnissen der XBT/TS-Methode und den wahren dynamischen Tiefen aus CTD-Messungen, soll keine systematische Untersuchung der Volumentransporte in Abhängigkeit von den Fehlern der Anomalie der dynamischen Tiefen, wie sie in den Kapiteln 5.1 bis 5.4 beschrieben wurden, erfolgen. Dieses Kapitel beschränkt sich lediglich auf die Darstellung der Volumentransporte aus den Werten der dynamischen Tiefen unter Berücksichtigung aller möglichen Fehlerarten der XBT/TS-Methode (s.Kap.5.1) und den Transportwerten ermittelt aus den dynamischen Tiefen, die nur noch den systematischen Fehler (s.Kap.5.4) enthalten.

Die Berechnungen der Volumentransporte aus geostrophischen Strömungen, ermittelt aus Werten dynamischer Tiefen nach der XBT/TS-Methode, werden durch Verwendung des druckunabhängigen Parameter σ_t vorgenommen. Für den Vergleich mit den CTD-Daten, werden die aus CTD-Messungen ermittelten Transportwerte nach der dynamischen Methode (Dietrich et al. 1975) gerechnet, die den Druckeffekt auf die Dichte mitberücksichtigt.

Als Referenzwerte für die Volumentransportberechnungen aus XBT-Messungen, stehen die Transportberechnungen der Vergleichsstationen 347-371 nach der dynamischen Methode aus CTD-Messungen in kummulativer und nichtkummulativer Form zur Verfügung (Abb.48-51). Für die Vergleiche der unterschiedlichen Berechnungsverfahren wurden Darstellungen gewählt, die die entsprechenden Differenzbeträge der Volumentransporte repräsentieren.

6.1. Volumentransporte aus Anomalien dynamischer Tiefen unter Berücksichtigung aller Fehlerarten, Referzniveau 800 dbar

Die Abb.52 repräsentiert den kumulativen Volumentransport, der aus Werten dynamischer Tiefen nach der XBT/TS-Methode unter Verwendung der Original-XBT-Temperaturen und einer Gesamt-TS-Beziehung (s.Kap.5.1) resultiert. Der kumulative Transport beträgt 11.3 Sv nach Osten, was im Vergleich zu Berechnungen mit der dynamischen Methode aus CTD-Messungen um 0.8 Sverdrup zu hoch ist. Bei der Abb.53 handelt es sich um die Volumentransporte zwischen den jeweils benachbarten Stationen, während die Abb.54 die zu den Volumentransporten aus CTD-Messungen entsprechenden Differenzbeträge darstellt. Die Werte der Transportdifferenzen umfassen einen Bereich von -1.05 - +1.18 Sv, wobei positive Vorzeichen Transportdifferenzen nach Osten bedeuten. Die Transporte zwischen den jeweils benachbarten Stationen, weisen für XBT- und CTD-Berechnungen identische Vorzeichen auf, lediglich die Auswertung zwischen den Stationen 353 und 354 ergibt für die CTD-Berechnungen einen Volumentransport nach Westen(0.08 Sv), während die Berechnungen aus XBT-Daten einen Transport nach Osten (1.10 Sv) ergeben.

Die Differenzbeträge der Volumentransporte lassen sich mit dem Schnitt der relativen Fehler der Anomalien der dynamischen Tiefen in Verbindung bringen. Ein Zusammenhang besteht zwischen den Vorzeichen der Steigungen der Fehlerlinien und den Vorzeichen der Transportdifferenzen. Werte positiver Steigungen stimmen überwiegend mit Transportüberschüssen nach Osten überein, während die überschüssigen Transporte nach Westen analog mit Werten negativer Steigungen im Zusammenhang stehen. Als repräsentatives Beispiel soll hierfür der Zusammenhang zwischen den Stationen 356 und 361 gelten. Aus den Beiträgen der horizontalen Gradienten lassen sich Aussagen über die Beträge der Transportdifferenzen treffen. Mit zunehmendem Betrag des Gradienten erhöhen sich die Werte der Transportdiffe-

renzen. Zwischen den Stationen 352 und 354 ergeben sich aufgrund der maximalen Gradienten die Werte des Maximalbereiches der Transportdifferenzen.

6.2. Volumentransporte unter Berücksichtigung der Anomalien der dynamischen Tiefen mit systematischen und Inter- bzw. Extrapolationsfehlern, Referenzniveau 800 dbar

Die Abb.55 zeigt den kumulativen Volumentransport des hydrographischen Schnittes, in dem durch die Verwendung von CTD-Temperaturen und CTD-Salzgehaltswerten nur noch der durch die Vernachlässigung des Druckeffektes auf die Dichte auftretender systematischer Fehler, sowie Inter- und Extrapolationsfehler vorhanden sind. Der Gesamttransport ist nach Osten um 1.2 Sv geringer, als der aus CTD-Berechnungen ermittelte Gesamttransport. Der Bereich der maximalen Transportdifferenzen ist gegenüber den im Kap. 5.1 dargestellten Werten mit -0.074 bis $+0.4$ Sv erheblich gesunken. Die maximalen Transportdifferenzen sind zwischen den Stationen 356-357, sowie 364-366 zu erkennen, was mit starken Gradienten der relativen Fehler (Abb.39) übereinstimmt. Die Abb.56 und 57 zeigen den Volumentransport zwischen den Stationen bzw. die Volumentransportdifferenzen.

6.3. Volumentransporte aus Anomalien dynamischer Tiefen unter Berücksichtigung aller Fehlerarten, Referenzniveau 1500 dbar

Die Abb.58 stellt den kumulativen Massentransport für das Referenzniveau bei 1500 dbar dar, der aus den Werten der Anomalien der dynamischen Tiefen unter Verwendung einer Gesamt-TS-Beziehung und dem entsprechenden mittleren Sigma-t-Profil resultiert. Der Gesamttransport über den hydrographischen Schnitt ergab einen Betrag von 21.1 Sv nach Osten, was im Vergleich zu

den mit der dynamischen Methode berechneten CTD-Daten einen Transportüberschuß von 0.7 Sverdrup in Richtung Osten ergibt. Die Abb.59 zeigt den Volumentransport zwischen den jeweils benachbarten Stationen, während die Abb.60 die Volumentransportdifferenzen darstellt.

Zwischen den Stationen 347-348, 353-355, 359-360 und 367-368 weisen die Transporte der Abb.59 im Vergleich zu den Referenzwerten aus CTD-Messungen (Abb.50) entgegengesetzte Vorzeichen auf. Der Bereich der Volumentransportdifferenzen ist gegenüber den Betrachtungen mit einem Referenzniveau von 800 dbar erheblich erweitert worden, die Differenzen zeigen einen Maximalbereich von -4.8 bis 9.2 Sv.

Die Verbindung der relativen Fehler der Anomalien der dynamischen Tiefen mit den Differenzbeträgen der Volumentransporte, ergibt allerdings ähnlich zusammenhängende Ergebnisse, wie sie in Kap.6.1 beschrieben wurden.

6.4. Volumentransporte unter Berücksichtigung der Anomalien dynamischer Tiefen mit systematischen und Inter- bzw. Extrapolationsfehlern, Referenzniveau 1500 dbar

Die Anwendung der CTD-Temperaturen und CTD-Salzgehaltswerte nach der XBT/TS-Methode ergab die Ergebnisse, wie sie in den Abb.61-63 dargestellt sind. Die Differenz der kumulativen Volumentransporte ergab ein Defizit von 4.7 Sverdrup nach Osten, ist also im Vergleich zu den Darstellungen des Kap.6.3 erheblich angestiegen. Die Extremwerte der Transportdifferenzen erstrecken sich von -3.2 bis 0.8 Sverdrup, was eine erhebliche Einengung des Bereiches bedeutet. Von den Berechnungen mit der dynamischen Methode abweichende Vorzeichen des Transportes ergeben sich lediglich zwischen den Stationen 347 und 348. Die größten Transportdifferenzen ergeben sich zwischen den Stationen 355-357, deckungsgleich mit den stärksten horizontalen Gradienten der relativen Fehler.

6.5. Fehlerbereiche der Volumentransporte

Für ein stetig geschichtetes Meer läßt sich der Unterschied der Stromgeschwindigkeit ($v_1 - v_2$) zwischen zwei isobaren Flächen nach der dynamischen Methode berechnen:

$$v_1 - v_2 = 10(\Delta D_B - \Delta D_A) / L 2w \sin \varphi \quad (1)$$

Hierbei sind ΔD_A und ΔD_B die Anomalien der dynamischen Tiefen zwischen den Stationen A und B, w die Winkelgeschwindigkeit der Erdrotation und φ die geographische Breite.

Für den absoluten Fehler bei der Berechnung der Strömungsgeschwindigkeit, sind Abhängigkeiten vom Fehler in der Differenzbildung der dynamischen Topographie ΔD und von der Meßgenauigkeit der Entfernung L gegeben:

$$d(v_1 - v_2) = (d\Delta D / 2wL \sin \varphi) + (\Delta D / 2wL \sin \varphi) dL \quad (2)$$

Der zweite Term ist gegenüber dem ersten vernachlässigbar klein (Fomin, 1964). Der Fehler bei der Berechnung der dynamischen Topographie nach der XBT/TS-Methode nimmt mit der Tiefe zu, daher wächst auch der Fehler bei der Berechnung der Strömungsgeschwindigkeiten mit zunehmender Tiefe an. Eine weitere Zunahme des Fehlers bewirkt die Abnahme der geographischen Breite und abnehmende Entfernungen zwischen den Stationen.

Es sei an dieser Stelle nochmals darauf hingewiesen, daß die Fehler bei den Differenzen der Anomalien der dynamischen Tiefen ($d\Delta D$) für die unterschiedlichen Berechnungsmethoden ver-

schiedene Ursachen haben. Neben der Ungenauigkeit in den Messungen der Parameter Druck, Temperatur und Salzgehalt mit dem CTD zur Berechnung mit der dynamischen Methode, beinhalten die Berechnungen der dynamischen Topographie nach der XBT/TS-Methode eine zusätzliche Fehlerquelle durch die Vernachlässigung des Druckeffektes auf die Dichte.

Der Volumentransport zwischen zwei isobaren Flächen, ergibt sich aus dem Produkt einer Strömungsgeschwindigkeit und dem Querschnitt zwischen zwei isobaren Flächen.

$$M = vL\Delta p \quad (3)$$

v ist die Stromgeschwindigkeit, L die Entfernung zwischen zwei Stationen und Δp der vertikale Abstand zwischen den isobaren Flächen.

Der absolute Fehler des Volumentransportes ergibt sich aus:

$$dM = dvL\Delta p + v\Delta p dL + vLd(\Delta p) \quad (4)$$

wobei der größte Fehleranteil durch die Ungenauigkeit in der Bestimmung der Stromgeschwindigkeit zu finden ist.

In den folgenden Aufstellungen sind die mittleren Volumentransportdifferenzen, Beträge der Volumentransportdifferenzen, deren Standardabweichungen sowie die tatsächlichen Fehlerbereiche aus den Einzelmessungen bei einem Referenzniveau von 800 dbar dargestellt.

Tab.5 Volumentransportdifferenzen aus Anomalien dynamischer Tiefen unter Berücksichtigung aller Fehlerarten, Referenzniveau 800 dbar

Druck [dbar]	Mittelwert MW [SV]	Standardabweich. STDV [SV]	Fehlerbereich aus Einzelauswertungen [SV]
100	0.005	0.054	-.10 - 0.10
200	0.015	0.153	-.30 - 0.30
300	0.021	0.249	-.51 - 0.50
400	0.028	0.334	-.69 - 0.72
500	0.030	0.411	-.83 - 0.90
600	0.031	0.474	-.97 - 1.04
700	0.033	0.514	-.99 - 1.13
800	0.033	0.528	-1.01 - 1.18

Tab.6 Beträge der Volumentransportdifferenzen aus Anomalien dynamischer Tiefen unter Berücksichtigung aller Fehlerarten, Referenzniveau 800 dbar

Druck [dbar]	Mittelwert MW [SV]	Standardabweich. STDV [SV]	Fehlerbereich aus Einzelauswertungen [SV]
100	0.044	0.030	0.01 - 0.10
200	0.125	0.086	0.02 - 0.30
300	0.199	0.144	0.02 - 0.52
400	0.263	0.193	0.02 - 0.72
500	0.323	0.247	0.01 - 0.90
600	0.368	0.289	0.01 - 1.04
700	0.398	0.317	0.01 - 1.13
800	0.408	0.327	0.02 - 1.18

Tab.7 Volumentransportdifferenzen unter Berücksichtigung der Anomalien dynamischer Tiefen mit systematischen und Inter- bzw. Extrapolationsfehlern, Referenzniveau 800 dbar

Druck [dbar]	Mittelwert MW [SV]	Standardabweich. STDV [SV]	Fehlerbereich aus Einzelauswertungen [SV]
100	-.005	0.027	-.07 - 0.05
200	-.012	0.080	-.19 - 0.16
300	-.026	0.134	-.31 - 0.17
400	-.035	0.185	-.42 - 0.36
500	-.039	0.222	-.50 - 0.42
600	-.047	0.247	-.62 - 0.43
700	-.050	0.262	-.70 - 0.41
800	-.051	0.268	-.74 - 0.40

Tab.8 Beträge der Volumentransportdifferenzen unter Berücksichtigung der Anomalien dynamischer Tiefen mit systematischen und Inter- bzw. Extrapolationsfehlern, Referenzniveau 800 dbar

Druck [dbar]	Mittelwert MW [SV]	Standardabweich. STDV [SV]	Fehlerbereich aus Einzelauswertungen [SV]
100	0.021	0.018	0.00 - 0.07
200	0.063	0.050	0.00 - 0.19
300	0.105	0.084	0.01 - 0.31
400	0.142	0.121	0.00 - 0.42
500	0.170	0.144	0.00 - 0.50
600	0.188	0.164	0.01 - 0.62
700	0.195	0.178	0.01 - 0.70
800	0.195	0.186	0.01 - 0.74

Tab.9 Volumentransportdifferenzen aus Anomalien dynamischer Tiefen unter Berücksichtigung aller Fehlerarten, Referenzniveau 1500 dbar

Druck [dbar]	Mittelwert MW [SV]	Standardabweich. STDV [SV]	Fehlerbereich aus Einzelauswertungen [SV]
100	0.007	0.139	-.27 - 0.49
200	0.013	0.417	-.83 - 1.46
300	0.020	0.691	-1.38 - 2.43
400	0.023	0.968	-1.93 - 3.45
500	0.026	1.228	-2.43 - 4.36
600	0.030	1.480	-2.88 - 5.27
800	0.027	1.933	-3.66 - 6.95
1000	0.025	2.257	-4.29 - 8.21
1200	0.026	2.435	-4.66 - 8.88
1500	0.028	2.501	-4.79 - 9.14

Tab.10 Beträge der Volumentransportdifferenzen aus Anomalien dynamischer Tiefen unter Berücksichtigung aller Fehlerarten, Referenzniveau 1500 dbar

Druck [dbar]	Mittelwert MW [SV]	Standardabweich. STDV [SV]	Fehlerbereich aus Einzelauswertungen [SV]
100	0.085	0.108	0.00 - 0.49
200	0.248	0.326	0.01 - 1.46
300	0.423	0.540	0.01 - 2.43
400	0.587	0.760	0.02 - 3.45
500	0.750	0.960	0.03 - 4.36
600	0.907	1.152	0.02 - 5.27
800	1.179	1.512	0.03 - 6.95
1000	1.350	1.788	0.09 - 8.21
1200	1.443	1.939	0.09 - 8.88
1500	1.475	1.997	0.09 - 9.14

Tab.11 Volumentransportdifferenzen unter Berücksichtigung der Anomalie dynamischer Tiefen mit systematischen und Inter- bzw. Extrapolationsfehlern, Referenzniveau 1500 dbar

Druck [dbar]	Mittelwert MW [SV]	Standardabweich. STDV [SV]	Fehlerbereich aus Einzelauswertungen [SV]
100	-.011	0.049	-.16 - 0.06
200	-.035	0.146	-.50 - 0.18
300	-.060	0.246	-.84 - 0.29
400	-.084	0.345	-1.20 - 0.39
500	-.106	0.443	-1.57 - 0.45
600	-.123	0.531	-1.92 - 0.52
800	-.151	0.678	-2.49 - 0.67
1000	-.178	0.780	-2.86 - 0.72
1200	-.192	0.842	-3.07 - 0.83
1500	-.195	0.873	-3.18 - 0.94

Tab.12 Beträge der Volumentransportdifferenzen unter Berücksichtigung der Anomalien dynamischer Tiefen mit systematischen und Inter- bzw. Extrapolationsfehlern, Referenzniveau 1500 dbar

Druck [dbar]	Mittelwert MW [SV]	Standardabweich. STDV [SV]	Fehlerbereich aus Einzelauswertungen [SV]
100	0.035	0.036	0.00 - 0.16
200	0.102	0.108	0.00 - 0.50
300	0.174	0.180	0.01 - 0.84
400	0.243	0.255	0.03 - 1.20
500	0.305	0.334	0.04 - 1.57
600	0.354	0.409	0.04 - 1.92
800	0.432	0.537	0.01 - 2.49
1000	0.492	0.624	0.01 - 2.86
1200	0.524	0.678	0.02 - 3.07
1500	0.539	0.706	0.02 - 3.18

Der Vergleich der Volumentransportdifferenzen und deren Beiträge bei einem Referenzniveau von 800 dbar, zeigt deutlich höhere Mittelwerte der Fehler, höhere Standardabweichungen und Fehlerbereiche aus Einzelauswertungen für die Berechnungen mit den Anomalien dynamischer Tiefen unter Berücksichtigung aller Fehlerarten (Tab.5 u.6) Die Mittelwerte, Standardabweichungen und Fehlerbereiche verzeichnen einen Anstieg ihrer Werte mit zunehmender Tiefe.

Während sich im Mittel aus den Transportdifferenzen bei Verwendung der dynamischen Topographien aus Kap.5.1 über den gesamten Tiefenbereich von 50-800 dbar ein, im Vergleich zu den Transporten aus CTD-Messungen, erhöhter Gesamttransport nach Osten ergibt, wird durch die Verwendung der Original-CTD-Daten (Kap.5.4) für die Berechnung nach der XBT/TS-Methode, der Gesamttransport in Richtung Osten geringer.

Die zur Beschreibung der Geschwindigkeitsfelder des Nordostatlantiks notwendige Erweiterung des Referenzniveaus auf 1500dbar, ergibt für die Transportberechnungen eine Steigerung der tiefenabhängigen Fehlerwerte und Fehlerbereiche.

Bei der Anwendung der Gesamt-TS-Beziehung ergibt sich für den kumulativen Volumentransport nur ein geringfügiger Unterschied zum Gesamttransport aus der dynamischen Methode, jedoch zeigen die Werte der Standardabweichungen bzw. der Fehlerbereiche völlig indiskutable Ergebnisse, die zur Beschreibung des Volumentransportes unzureichend sind.

Die Verwendung der Original-CTD-Daten für die XBT/TS-Methode ergeben zwar deutlich geringere Fehlerwerte, doch übt der Einfluß des systematischen Fehlers aus den Anomalien der dynamischen Tiefen (Kap.5.4) bei einem Referenzniveau von 1500 dbar ebenfalls erhebliche Ungenauigkeiten in der Beschreibung der Volumentransporte aus.

7. Zusammenfassung der Ergebnisse und Schlußfolgerungen

Der systematische Vergleich der berechneten Anomalien der dynamischen Tiefen nach der XBT/TS-Methode zu den wahren dynamischen Topographien aus CTD-Messungen zeigt, daß sich der größte Fehler durch die Berechnung der dynamischen Topographien mit dem druckunabhängigen Parameter Sigma-t ergibt. Die Fehlerwerte verzeichnen einen Anstieg mit zunehmender Tiefe und sind ebenfalls von der Dichteschichtung des Ozeans abhängig. Für den hydrographischen Schnitt zwischen den Azoren und der Subpolarfront ergeben sich für den südlichen Teil höhere Fehlerwerte als im Norden. Bis zur Meßtiefe der XBT-Sonden bei 800m erreicht der Fehler Werte bis zu -0.04 dynm, während er bis zur Berechnungsendtiefe von 1500m aufgrund des mit der Tiefe zunehmenden Druckeffektes auf die Dichte auf bis zu -0.15 dynm ansteigen kann. Die Berechnung der Anomalien der dynamischen Tiefen aus Sigma-t-Werten, erscheint ab dem Tiefenbereich 800-1000m aufgrund der ermittelten Fehlerwerte als wenig sinnvoll und entspricht damit den Angaben von Montgomery und Wooster (1958).

Aufgrund der beobachteten Fehlerwerte, die sich aus der Wahl der verwendeten TS-Beziehungen ergaben, erscheint die Anwendung von mittleren TS-Beziehungen und deren sich ergebenden mittleren Sigma-t-Profile sinnvoll, die sich auf lokal begrenzte Seegebiete bezogen, um den Einfluß charakteristischer Wassermassen hinreichend genau zu berücksichtigen. Für den Schnitt von den Azoren bis zur Subpolarfront wurden TS-Beziehungen mit einer Horizontalskala von ca. 500 Kilometern diesem Genauigkeitsanspruch gerecht. Da diese Empfehlung sicherlich nicht für alle Gebiete geeignet ist, kann man den o.g. Genauigkeitsanspruch der XBT/TS-Methode besser durch die Festlegung der Standardabweichung der gemittelten TS-Beziehungen erreichen, d.h., die mittlere Standardabweichung der TS-Beziehungen sollte 0.05% des

Salzgehaltes nicht überschreiten. Damit entfällt die XBT - TS-Methode in Frontalregionen mit kleinräumigen TS-Variationen.

Es zeigt sich ebenfalls, daß der Einfluß des Mittelmeerwassers, das im Seegebiet nördlich der Azoren in unregelmäßigen Einschüben die Dichteschichtung des Nordostatlantiks unterhalb von 900m beeinflusst, zu Fehlern in der Berechnung der dynamischen Topographie nach der XBT/TS-Methode führen kann. Da die Einsatztiefe der XBT-Sonden den Einflußbereich der Mittelmeerwassereinschübe nicht erfassen kann, ergeben sich daher auch keine Korrekturmöglichkeiten.

Durch die Verwendung der CTD-Temperaturdaten konnte der Einfluß der Temperatur- und Tiefenfehler der XBT-Sonden auf die Berechnung der Anomalie der dynamischen Tiefen ermittelt werden. Eine Korrektur des Tiefenfehlers wäre für die Zukunft durch ein neues XBT-Meßverfahren gegeben, wie es seit 1983 vom Institut für Meereskunde Kiel angewendet wird. Hier erfolgt die Zuordnung der Tiefenwerte nicht mehr über die Papiervorschubsteuerung eines XBT-Analogaufzeichnungsgerätes, sondern wird als Funktion der registrierten Meßzeit auf einem transportablen Kleinrechner in digitaler Form aufgezeichnet. Hierbei würde eine Verbesserung des Algorithmus zur Tiefenbestimmung aufgrund der Fehlerauswertung von XBT-Daten von Heinmiller (1983) eine starke Einschränkung des Tiefenfehlers ergeben.

Um eine erhebliche Einschränkung des Fehlers bei der Berechnung der Anomalien der dynamischen Tiefen zu erzielen, wäre es notwendig, die Berechnungen anstelle mit dem druckunabhängigen Parameter σ_t , durch den druckabhängigen Parameter $\alpha_{S,T,p}$ zu ersetzen. Zu diesem Zweck dürfte es sich als vernünftig erweisen, die Berechnungen auf 1500m entweder durch ein Anhängen mittlerer $\alpha_{S,T,p}$ -Profile zu erweitern, oder durch die unmittelbare Berechnung nach der

dynamischen Methode durch ein Anhängen mittlerer Temperaturprofile und ihrem Zusammenhang mit mittleren TS-Beziehungen zu erreichen. Bei gleichzeitiger Minimierung der XBT-Tiefenfehler wären dann bei Berechnungen nach der XBT-TS-Methode für das 800m-Niveau mit Fehlern von maximal ca. 0.01 und für das 1500m-Niveau mit maximal ca. 0.025dynm zu rechnen. Voraussetzung dafür wäre allerdings, daß die Wahl der mittleren TS-Beziehung die Einfüsse verschiedener charakterister Wassermassen entsprechend berücksichtigt (s.o.)

Unter Berücksichtigung dieser Empfehlungen ist die XBT/TS-Methode sicherlich gut geeignet, eine rasche Aufnahme der dynamischen Topographien bis 1500m zu erhalten und läßt so interaktive Expeditionsplanungen zu.



Literatur

- DIETRICH, G., K. KALLE, W. KRAUSS und G.SIEDLER (1975):
Allgemeine Meereskunde 3.Auflage
Gebr. Bornträger, Berlin, Stuttgart
- EKMAN, V.W. (1908): Die Zusammendrückbarkeit des Meerwassers.
Council Perm. Intern. p. l' Expl. de la Mer
Pub. de Circostance, No. 43, 47pp.
- EMERY, W.J. (1975): Dynamic height from temperature profiles.
Journal of physical oceanography, 5, p. 369-375
- FAHRBACH, E., W. KRAUSS, J. MEINCKE und A. SY (1983):
Nordostatlantik '82 - Data Report -
Berichte aus dem Institut für Meereskunde an der
Universität Kiel, No. 119
- FOFONOFF, N.P. und S. TABALA (1958): Program for oceanographic
computations and data processing on the
electronic digital computer ACWACIII-E, DP-1.
Oceanogr. Stat. Data Program -
Fish. Res. Board Can. Ser. No. 25
- FOMIN, L.M. (1964): The dynamic method in oceanography.
Elsevier Oceanographic Series Volume 2
- GREEN, A.W. (1984): Bulk dynamics of the expandable bathy-
thermograph (XBT).
Deep Sea Res. Vol 31 No.4 p. 415-426

- HEINMILLER, R.H. (1983): Systematic errors in expandable bathythermograph (XBT).
Deep Sea Res., 30, 1185-1197
- HILLER, W. und R.H. KÄSE (1983): Objektive Analysis of Hydrographic Data Sets from Mesoscale Surveys.
Berichte aus dem Institut für Meereskunde an der Universität Kiel, No. 116
- MEINCKE, J. und A. SY (1983): Large-Scale Effects of the Mid-Atlantic Ridge on the North Atlantic Current.
International Council for the Exploration of the Sea, CM 1983/C:8
- MONTGOMERY, R.B. und W.S. WOOSTER (1954): Thermosteric anomaly and the analysis of serial oceanography data.
Deep Sea Res., 2, 63-70
- NEUMANN, G. und PIERSON, W.J. (1965): Principles of Physical Oceanography.
Prentice-Hall, 1966
- SIPPICAN (1970): Ocean Engineering Bulletin No. 1
- SY, A. (1983): Warmwassersphäre - Handling and processing of hydrographic data. - Technical Report.
Berichte aus dem Institut für Meereskunde an der Universität Kiel, No. 111

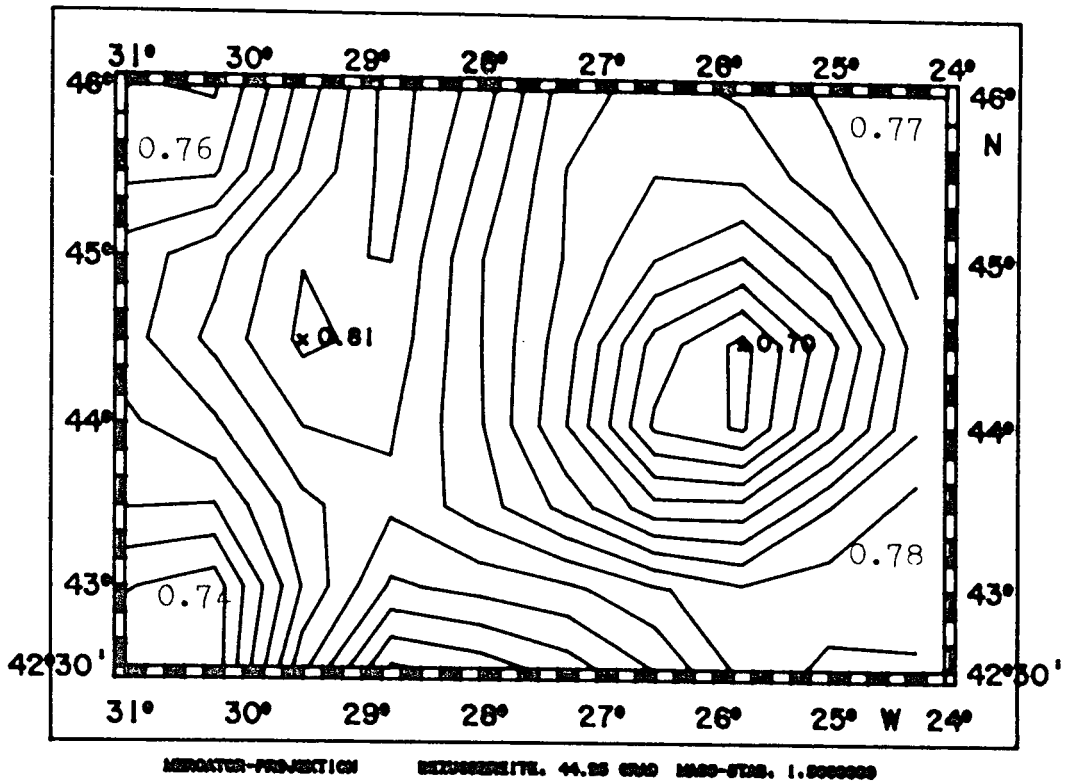


Abb.1 Horizontalprojektion dynamischer Topographien aus CTD-Messungen nach objektiver Analyse der hydrographischen "Box", 50/800 dbar Linienabstand 0.01 dynm

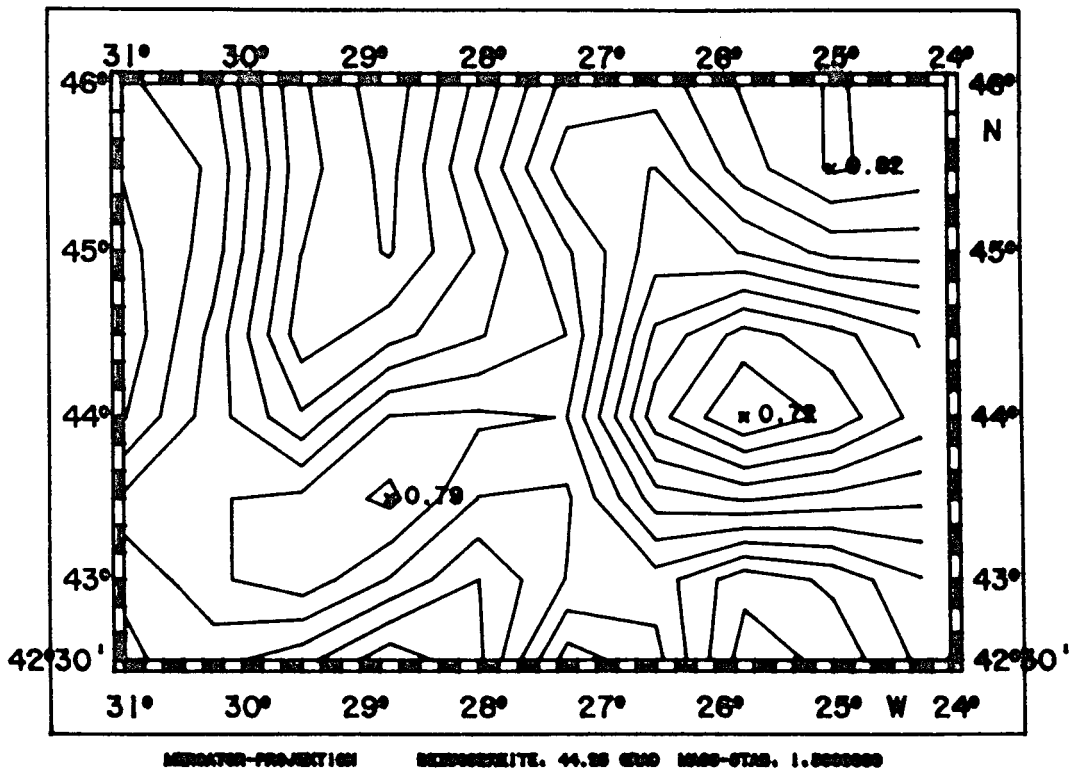


Abb.2 Horizontalprojektion dynamischer Topographien aus XBT-Messungen nach objektiver Analyse der hydrographischen "Box", 50/800 dbar Linienabstand 0.01 dynm

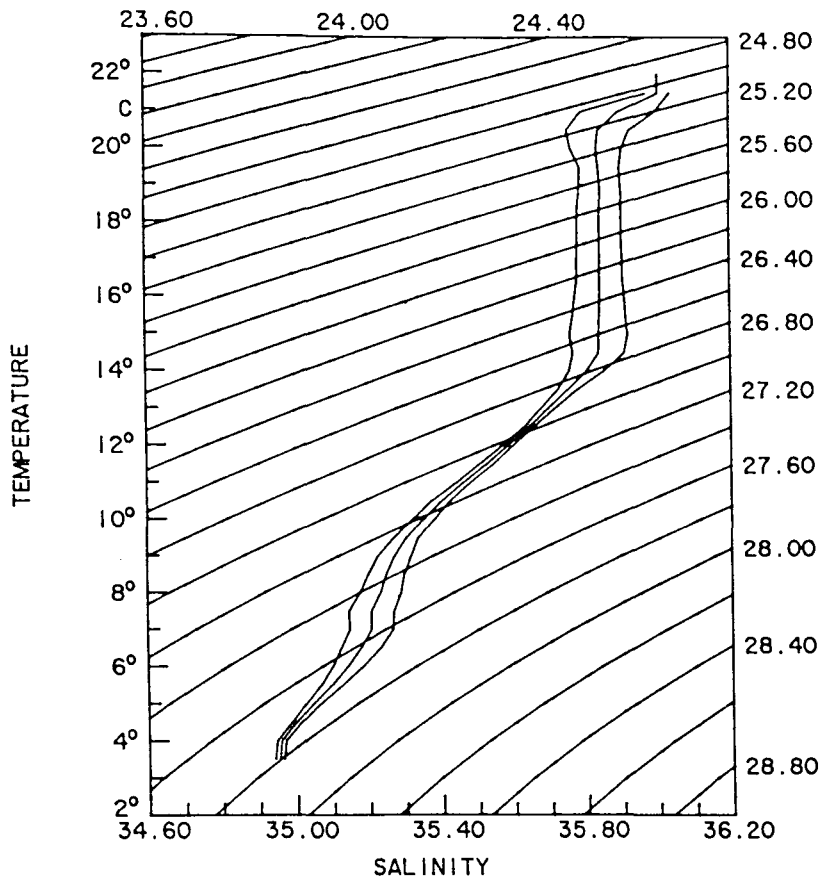


Abb.3 Mittlere TS-Beziehung in der hydrographischen "Box"

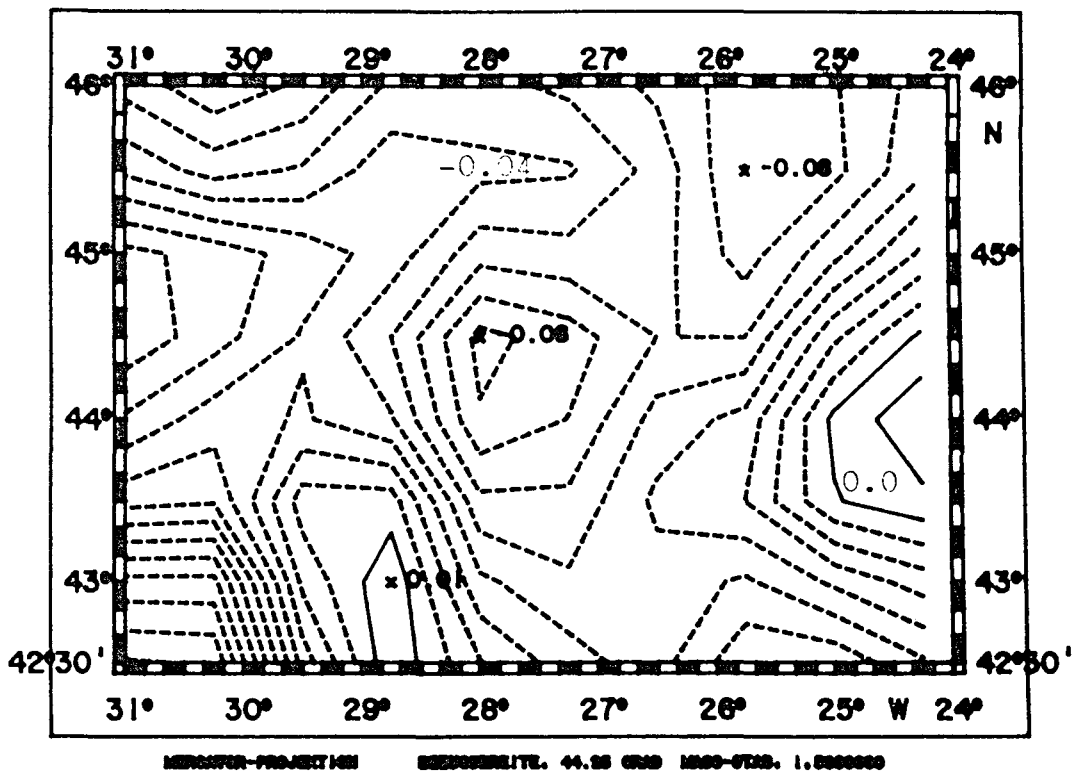


Abb.4 Horizontalprojektion relativer Fehler dynamischer Topographien aus XBT-Messungen nach objektiver Analyse der hydrographischen "Box", 50/800 dbar Linienabstand 0.01

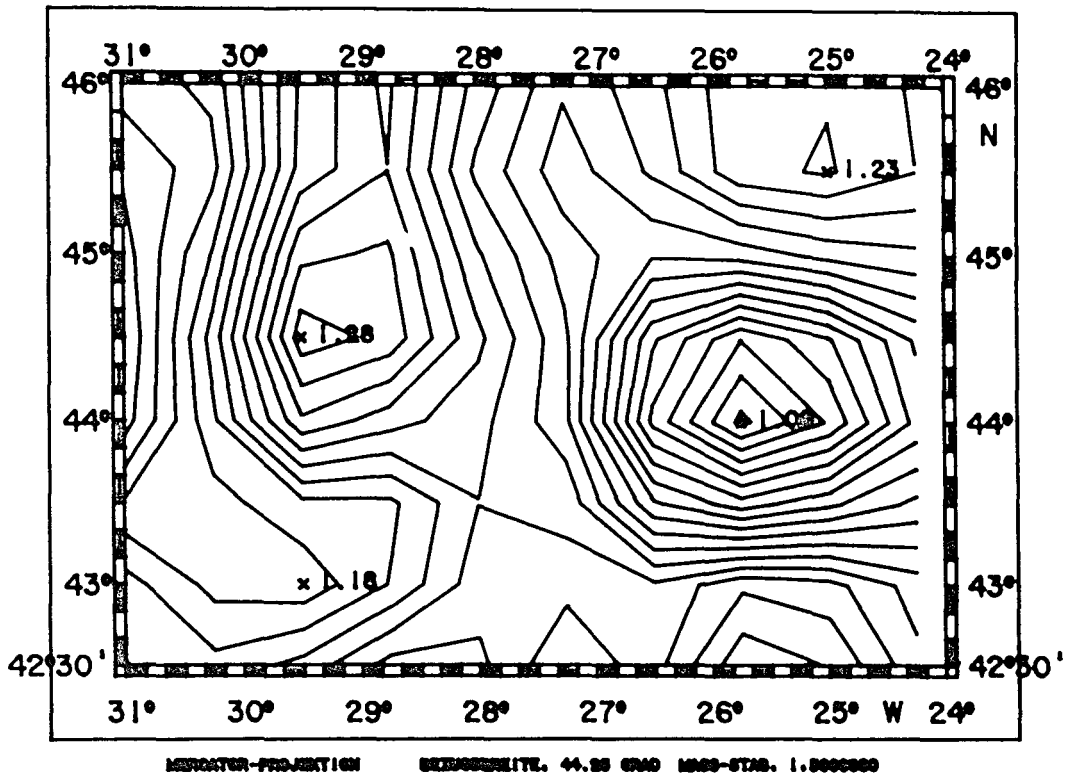


Abb.5 Horizontalprojektion dynamischer Topographien aus CTD-Messungen nach objektiver Analyse der hydrographischen "Box", 50/1500 dbar Linienabstand 0.01 dynm

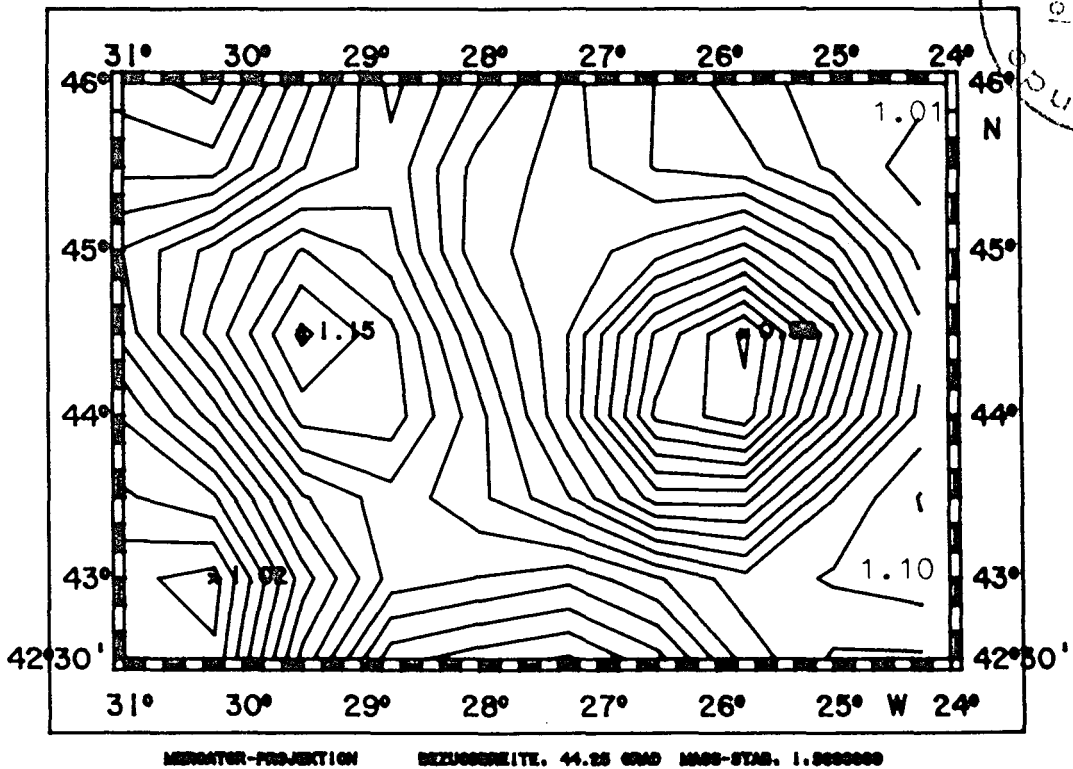
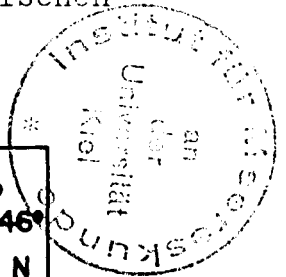


Abb.6 Horizontalprojektion dynamischer Topographien aus XBT-Messungen nach objektiver Analyse der hydrographischen "Box", 50/1500 dbar Linienabstand 0.01 dynm



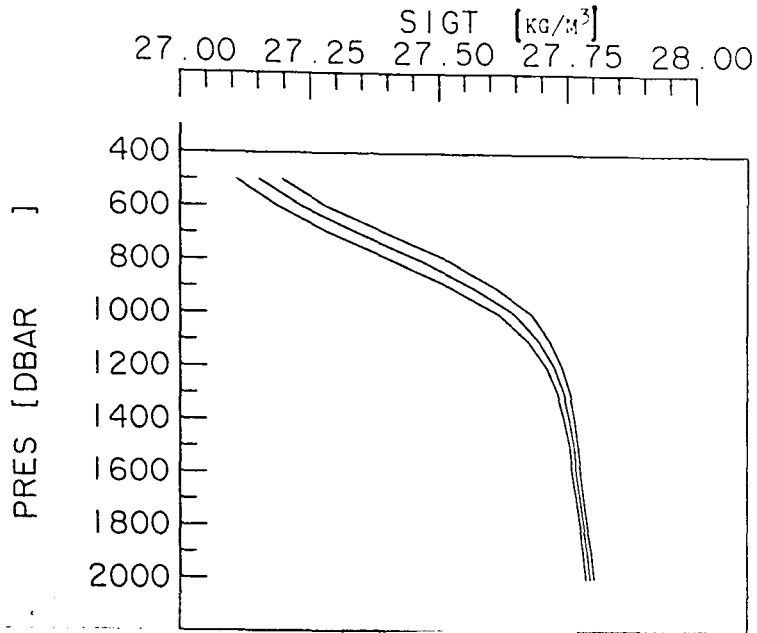


Abb.7 Mittleres Sigma-t-Profil und Standardabweichungen der mittleren TS-Beziehung der hydrographischen "Box"

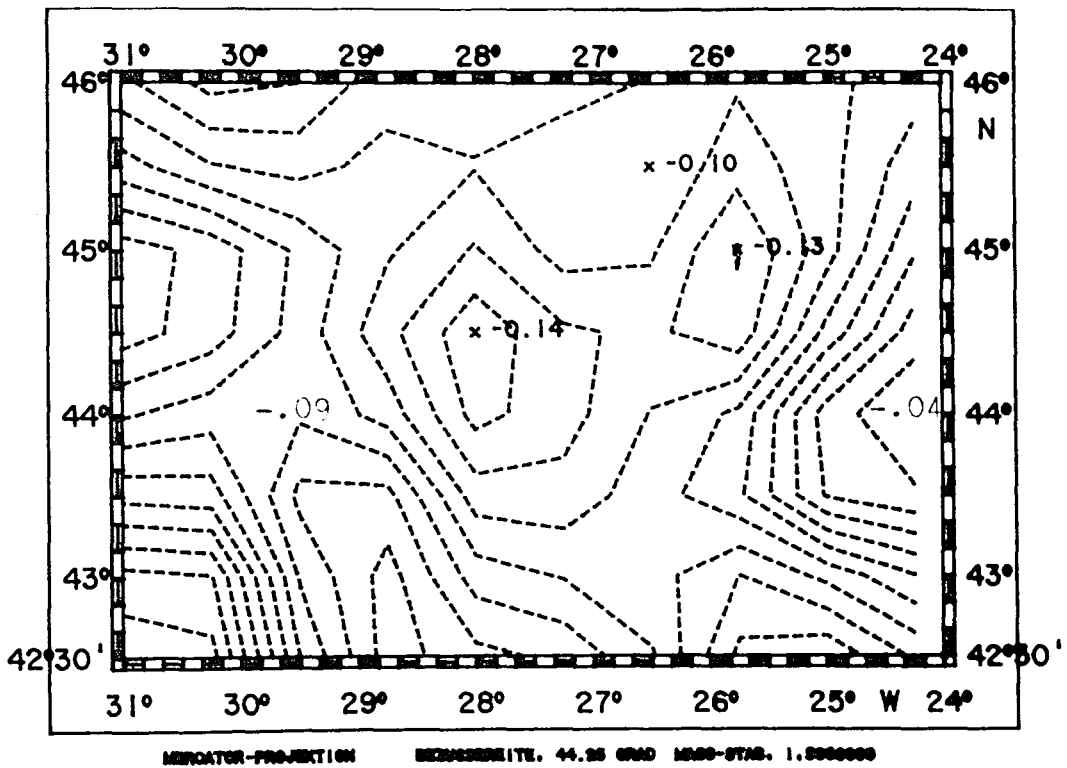


Abb.8 Horizontalprojektion relativer Fehler dynamischer Topographien aus XBT-Messungen nach objektiver Analyse der hydrographischen "Box", 50/1500 dbar Linienabstand 0.01

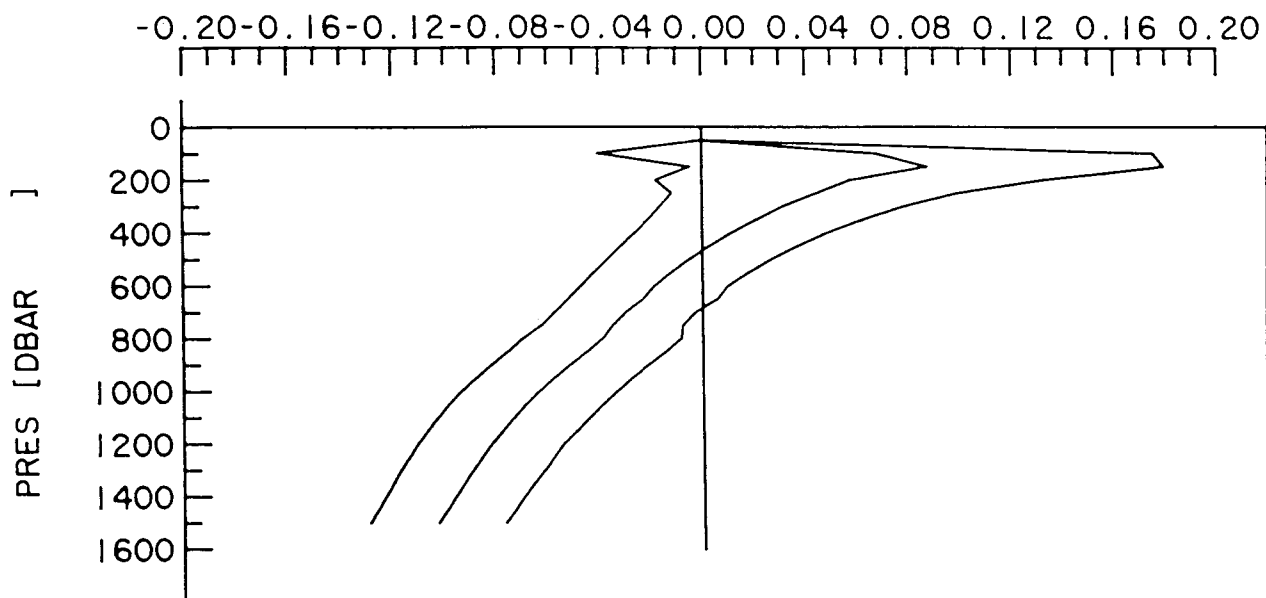


Abb.9 Mittlerer relativer Fehler dynamischer Topographien der XBT/TS-Methode während der 57.Meteorreise

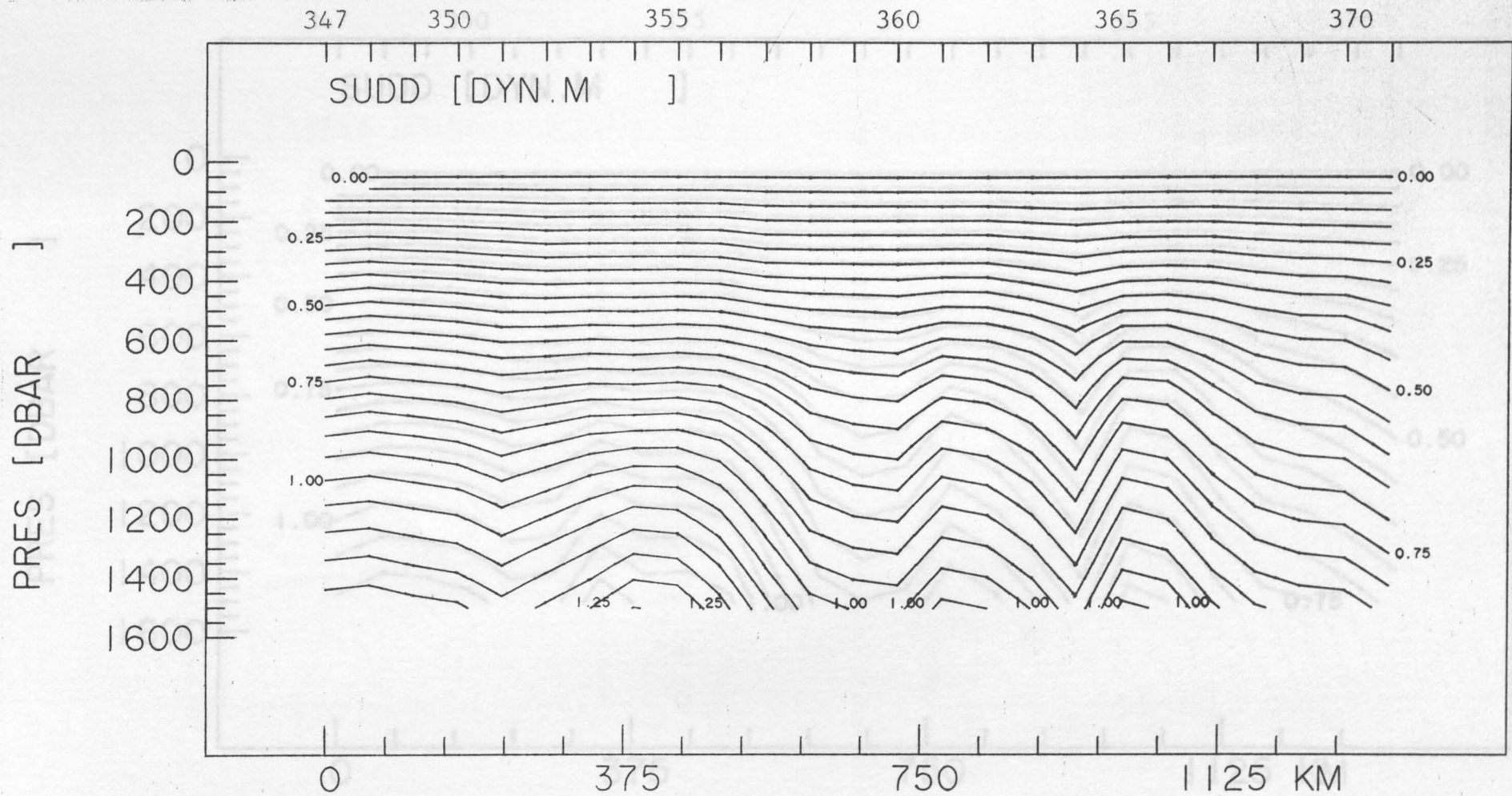


Abb.10 Vertikalschnitt dynamischer Topographien aus CTD-Messungen der 87.Poseidonreise, 50/1500 dbar Linienabstand 0.05 dynm

zeichnung während der 87.Poseidonreise, 50/1500 dbar Linienabstand 0.05 dynm

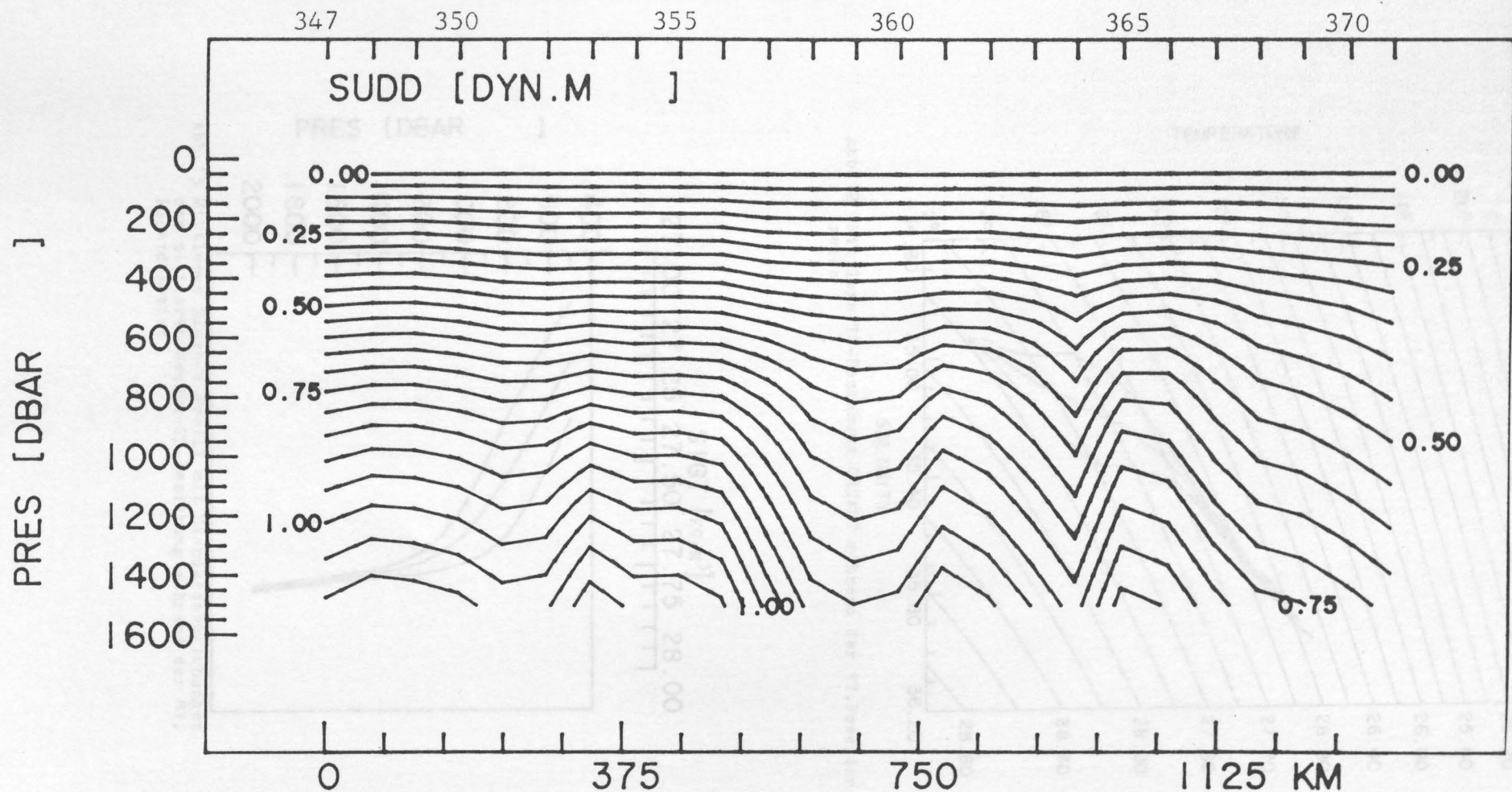


Abb.11 Vertikalschnitt dynamischer Topographien der XBT/TS-Methode mit Original XBT-Temperaturwerten und einer Gesamt-TS-Beziehung während der 87.Poseidonreise, 50/1500 dbar Linienabstand 0.05 dynm

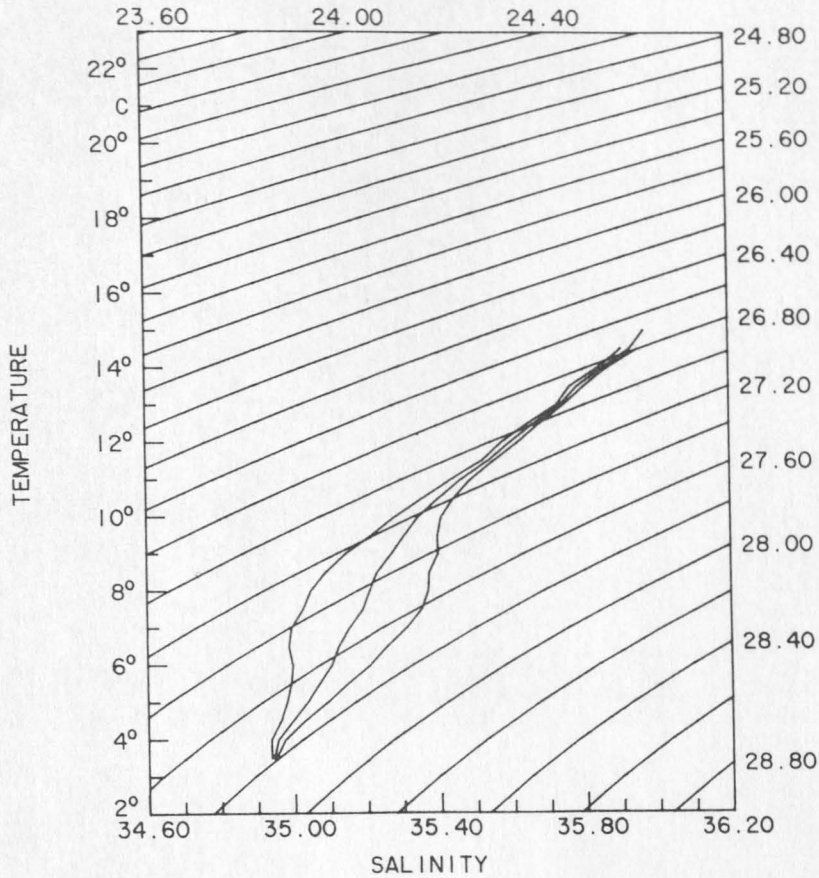


Abb.12 Mittlere TS-Beziehung GESAMT während der 87. Poseidonreise

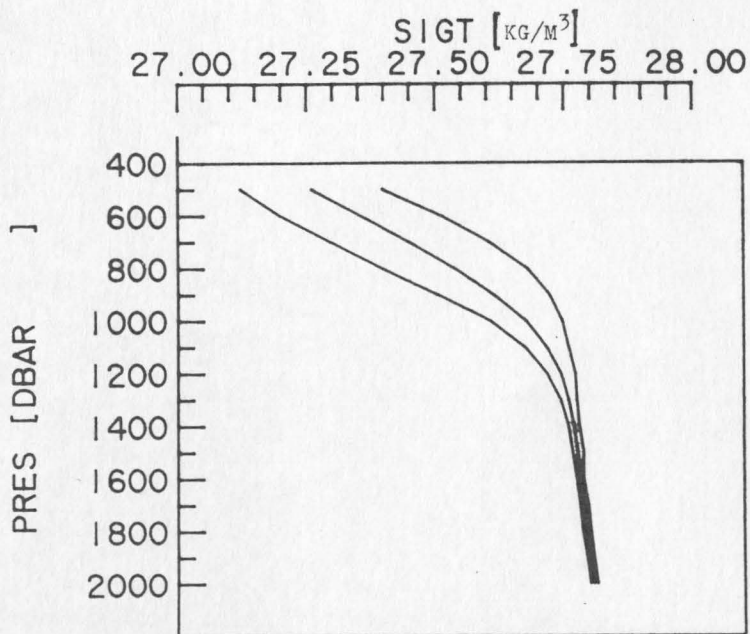


Abb.13 Mittleres Sigma-t-Profil mit Standardabweichungen der mittleren Gesamt-TS-Beziehung während der 87. Poseidonreise

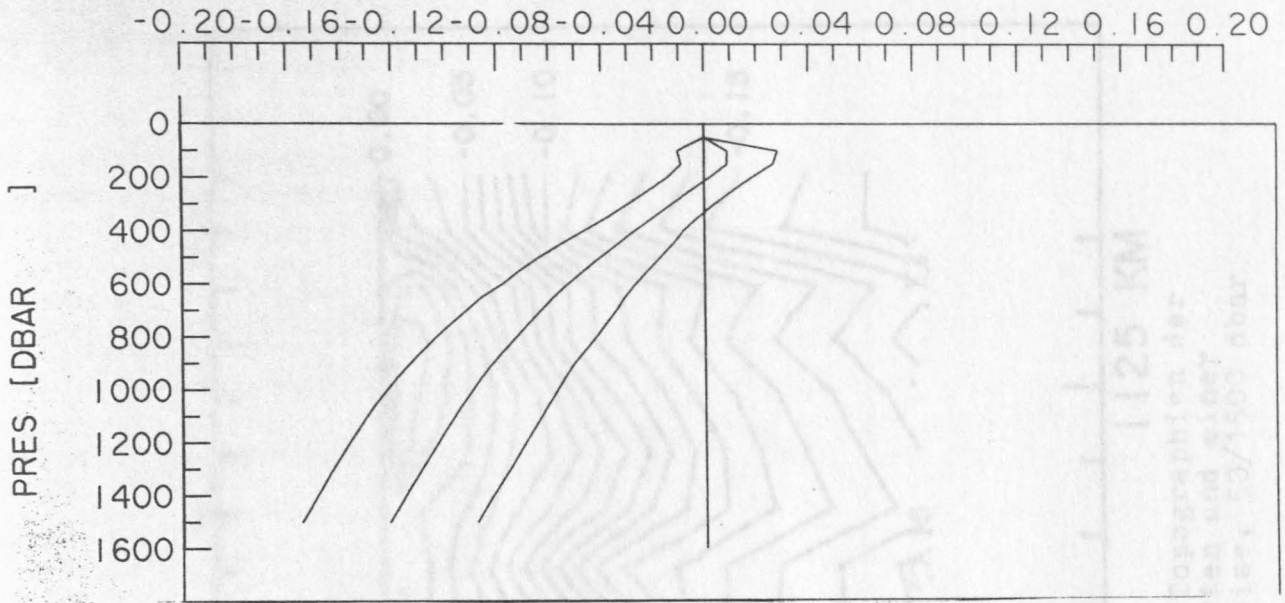


Abb.14 Mittlerer relativer Fehler dynamischer Topographien der XBT/TS-Methode mit Original-XBT-Temperaturwerten und einer Gesamt-TS-Beziehung während der 37. Poseidonreise

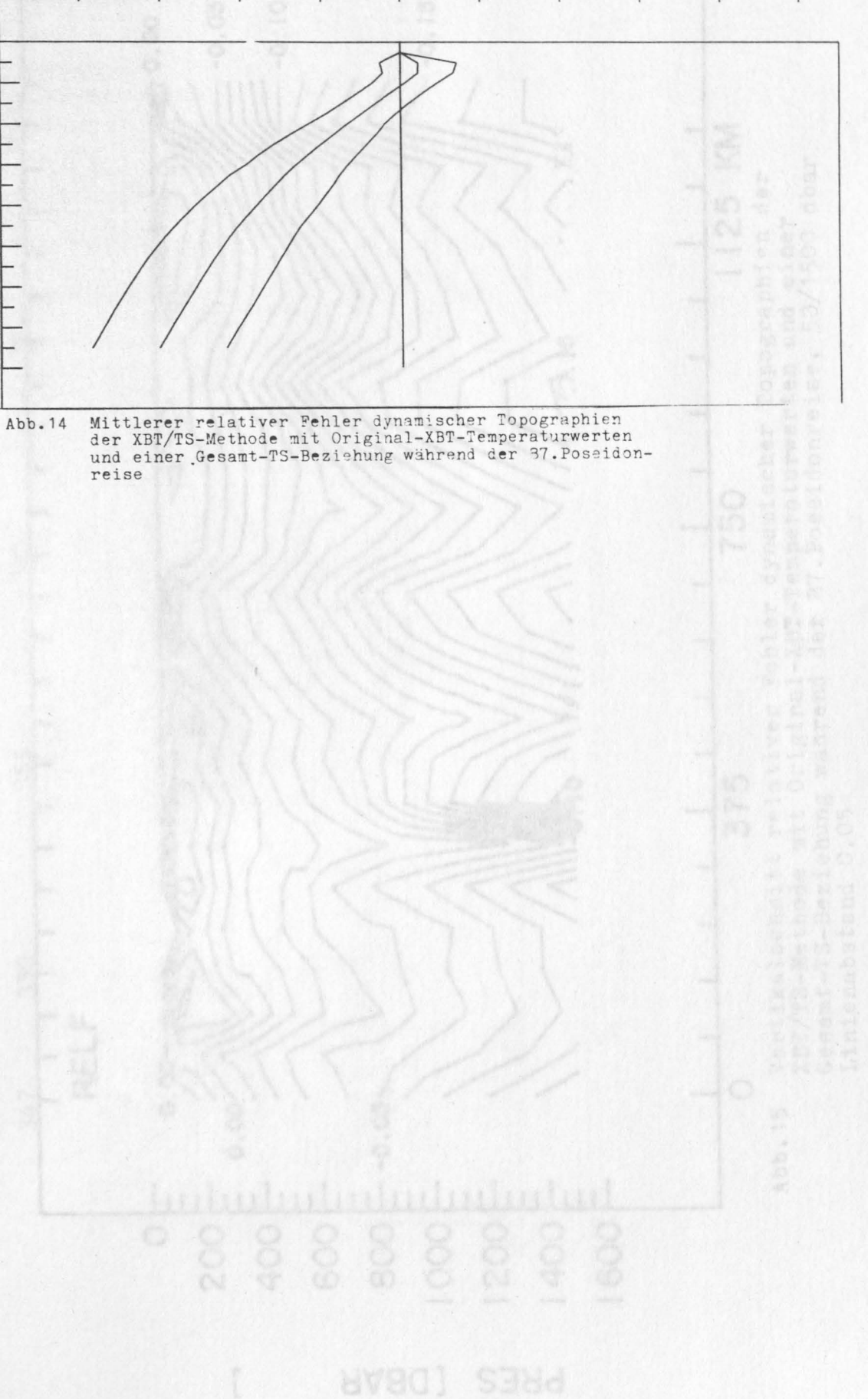


Abb.15 Verteilung des relativen Fehler dynamischer Topographien der XBT/TS-Methode mit Original-XBT-Temperaturwerten und einer Gesamt-TS-Beziehung während der 37. Poseidonreise, 50/1500 dbar, Linienabstand 0,05

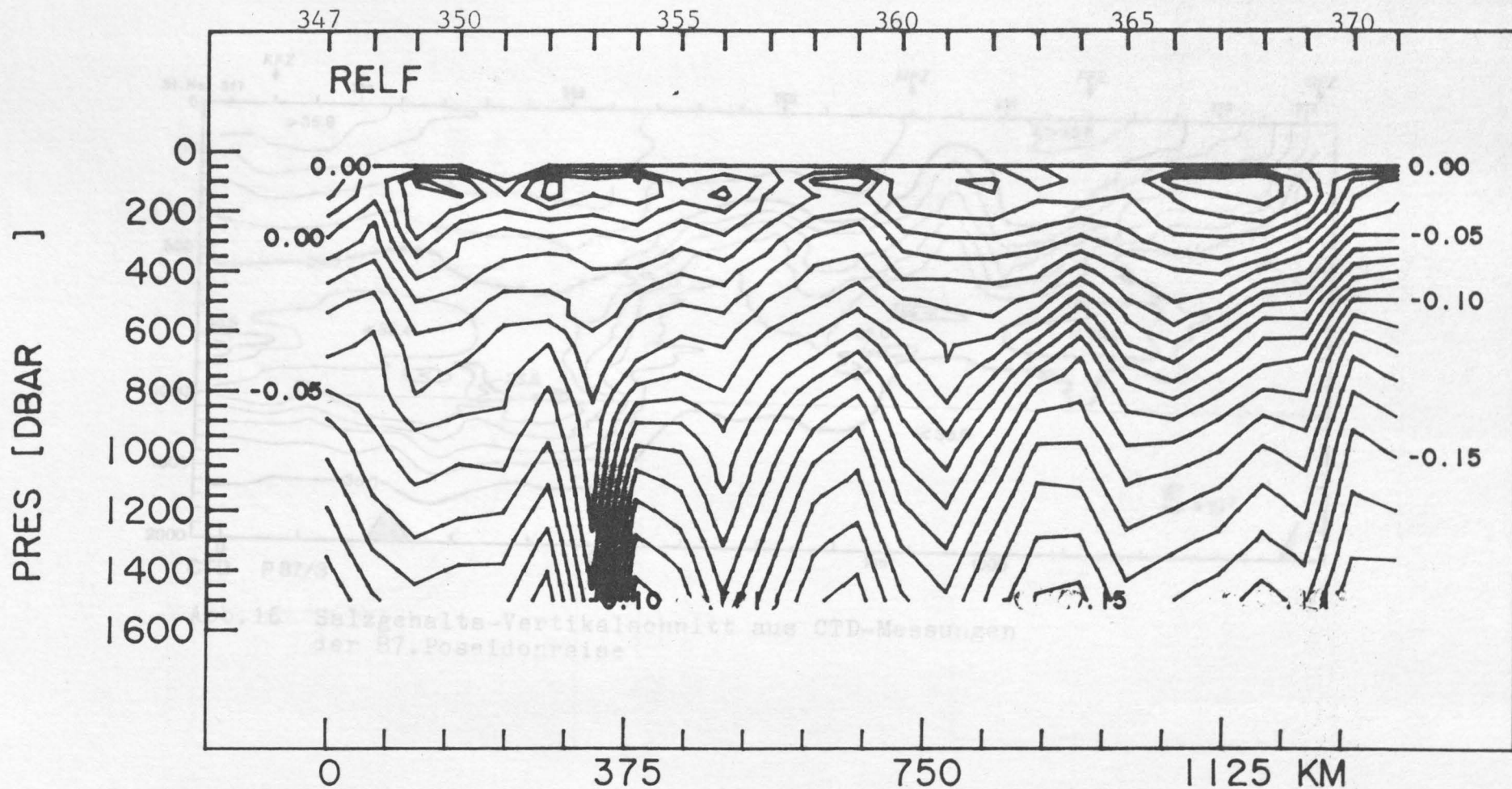


Abb.15 Vertikalschnitt relativer Fehler dynamischer Topographien der XBT/TS-Methode mit Original-XBT-Temperaturwerten und einer Gesamt-TS-Beziehung während der 87.Poseidonreise, 50/1500 dbar Linienabstand 0.05

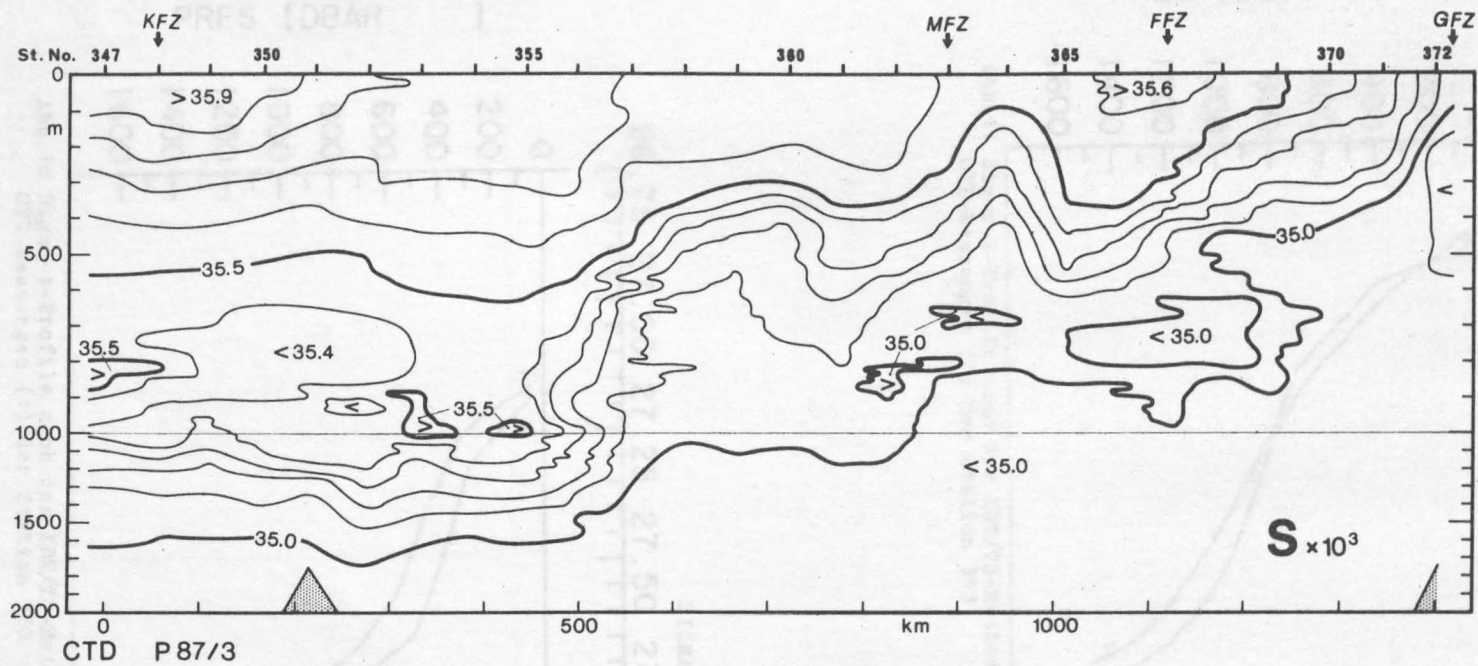


Abb.16 Salzgehalts-Vertikalschnitt aus CTD-Messungen der 87.Poseidonreise

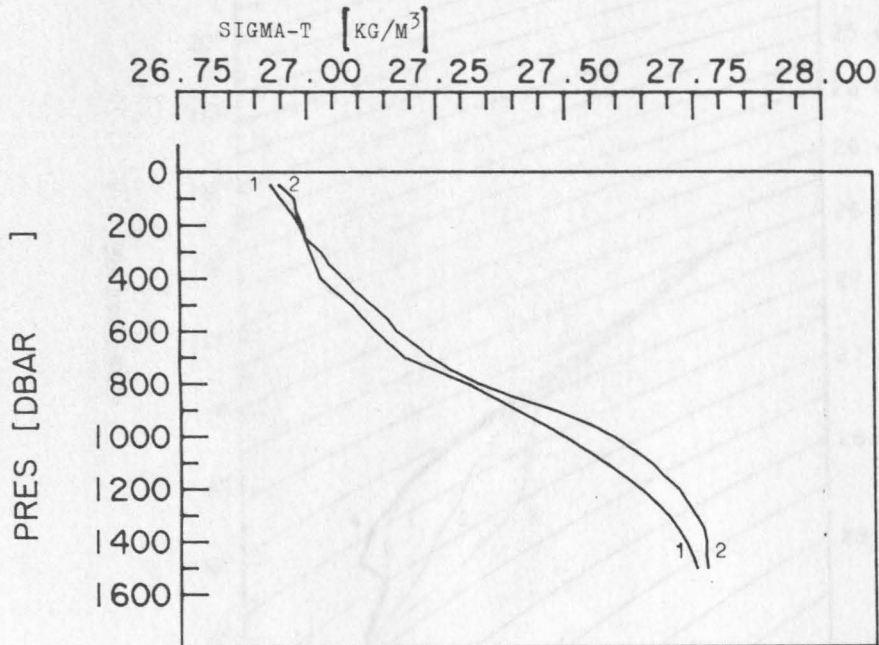


Abb.17 Sigma-t-Profile nach der XBT/TS-Methode (1) und CTD-Messungen (2) der Station 353

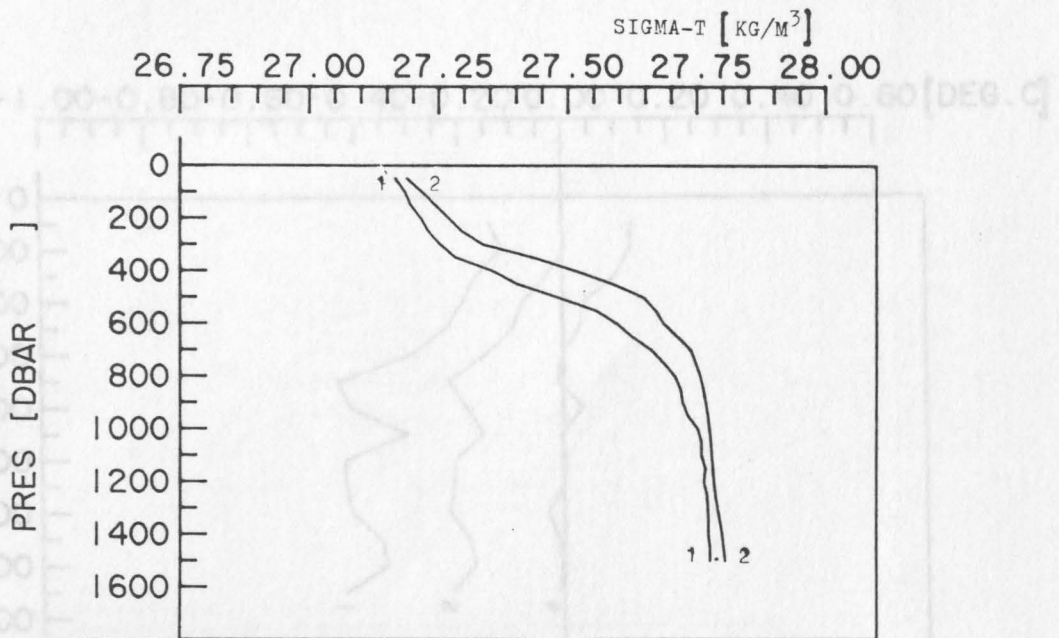


Abb.18 Sigma-t-Profile nach der XBT/TS-Methode (2) und CTD-Messungen (1) der Station 370

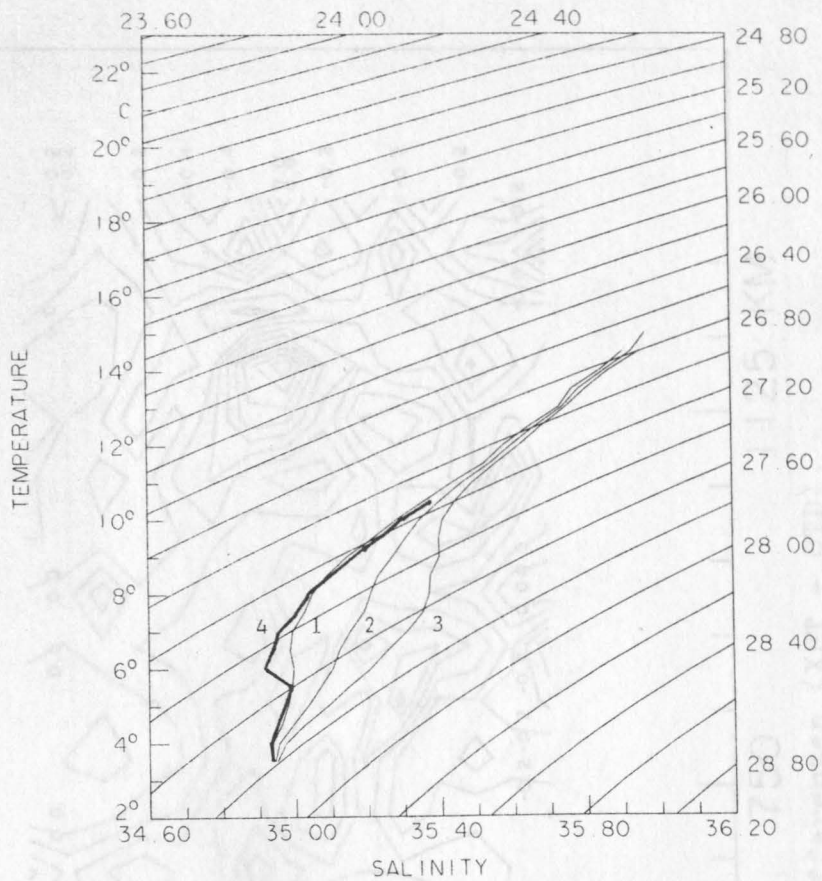


Abb.19 Vergleich der mittleren TS-Beziehung GESAMT und deren Standardabweichungen (1,2,3) mit der Original-TS-Beziehung der Station 370 aus CTD-Messungen (4)

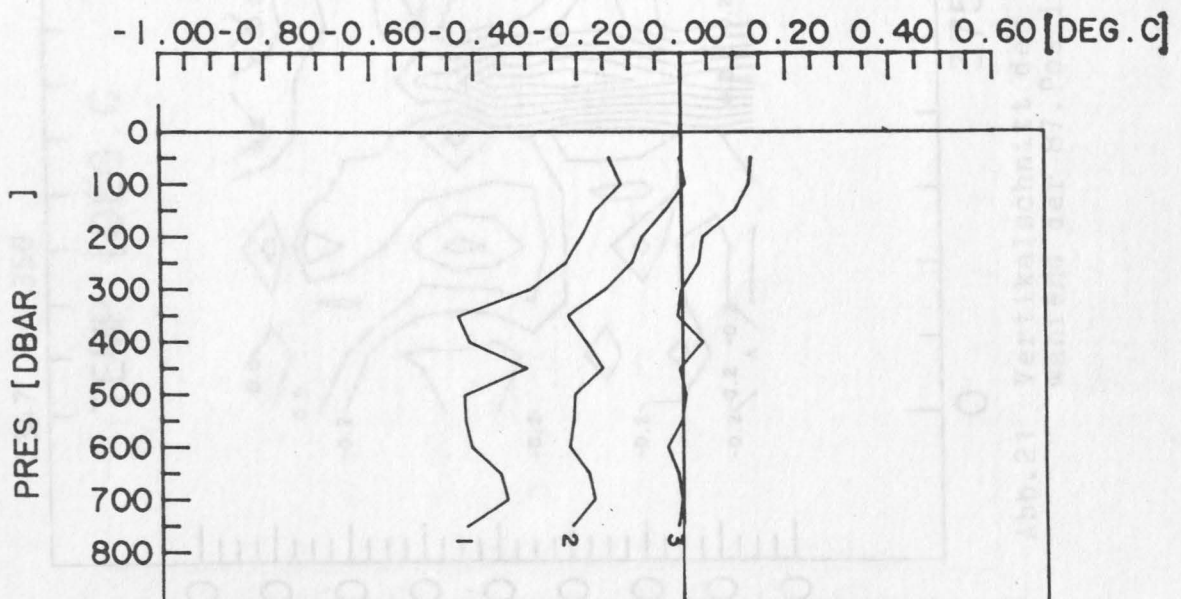


Abb.20 Mittelwerte (2) und Standardabweichungen (1,3) der Temperaturdifferenzen (XBT - CTD) während der 87. Poseidonreise

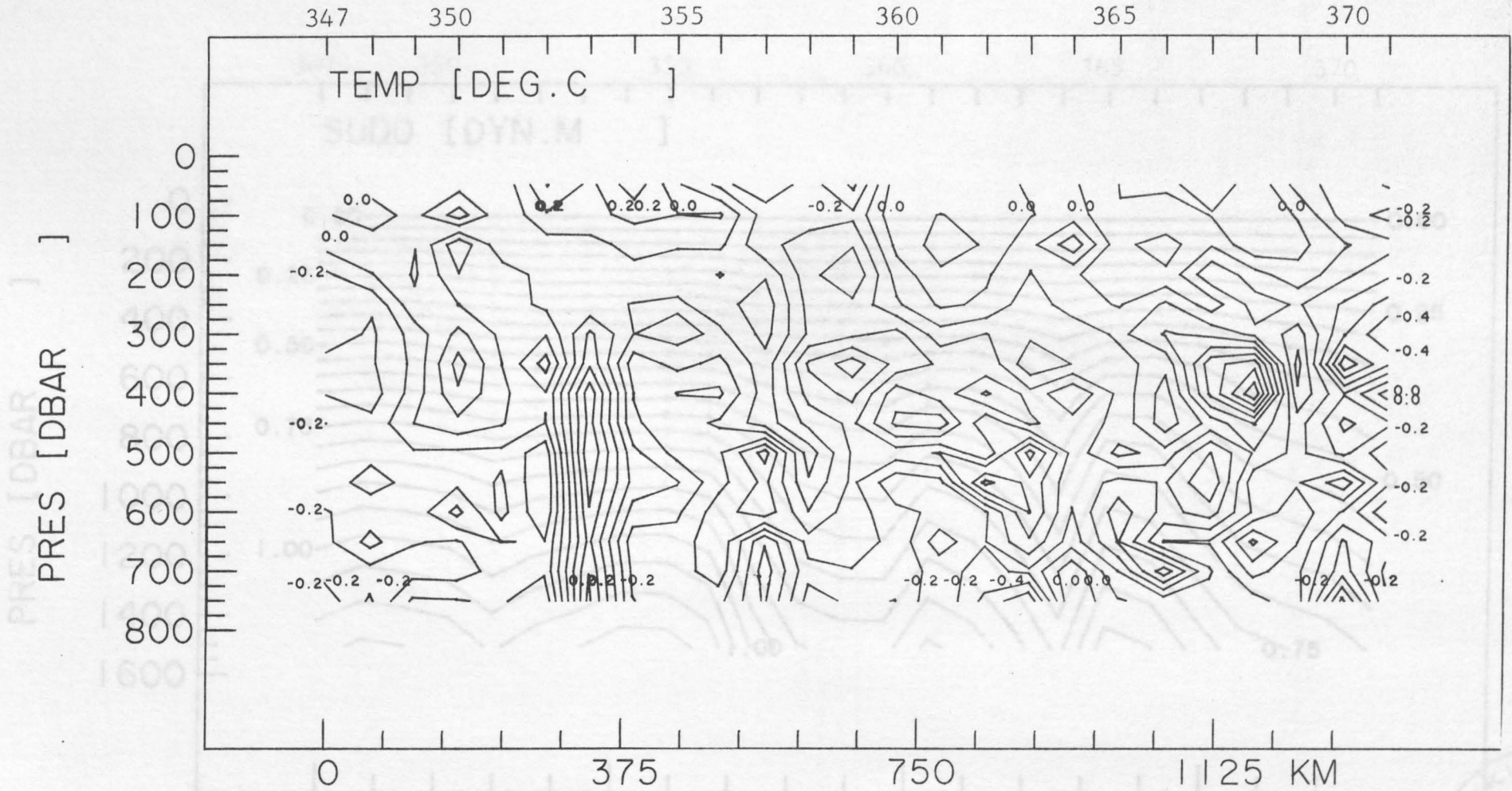


Abb.21 Vertikalschnitt der Temperaturdifferenzen (XBT - CTD) während der 87. Poseidonreise



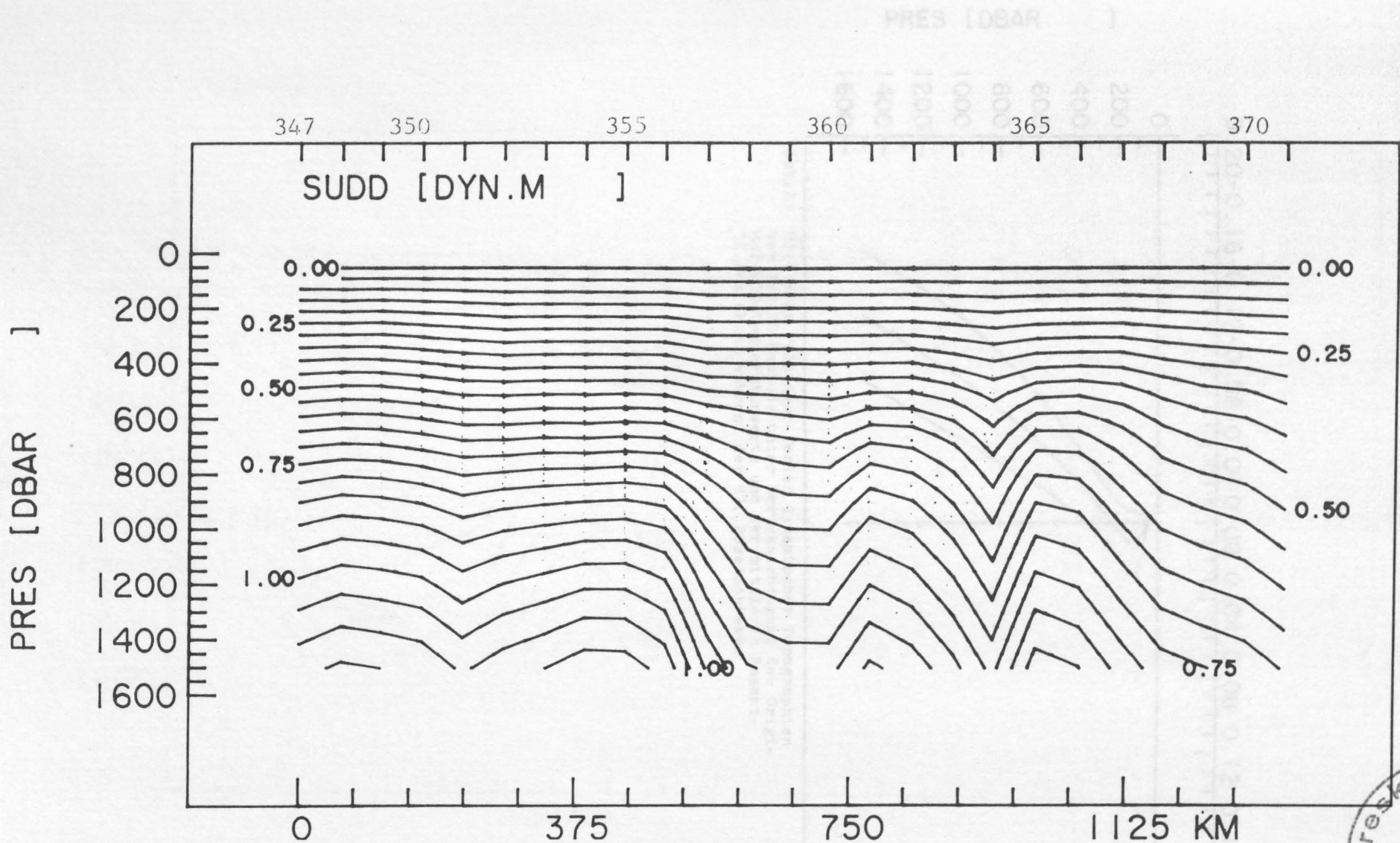
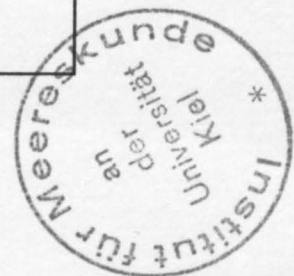


Abb.22 Vertikalschnitt dynamischer Topographien der XBT/TS-Methode unter Berücksichtigung der Original-CTD-Temperaturwerte mit Gesamt-TS-Beziehung während der 87. Poseidonreise, 50/1500 dbar Linienabstand 0.05 dynm



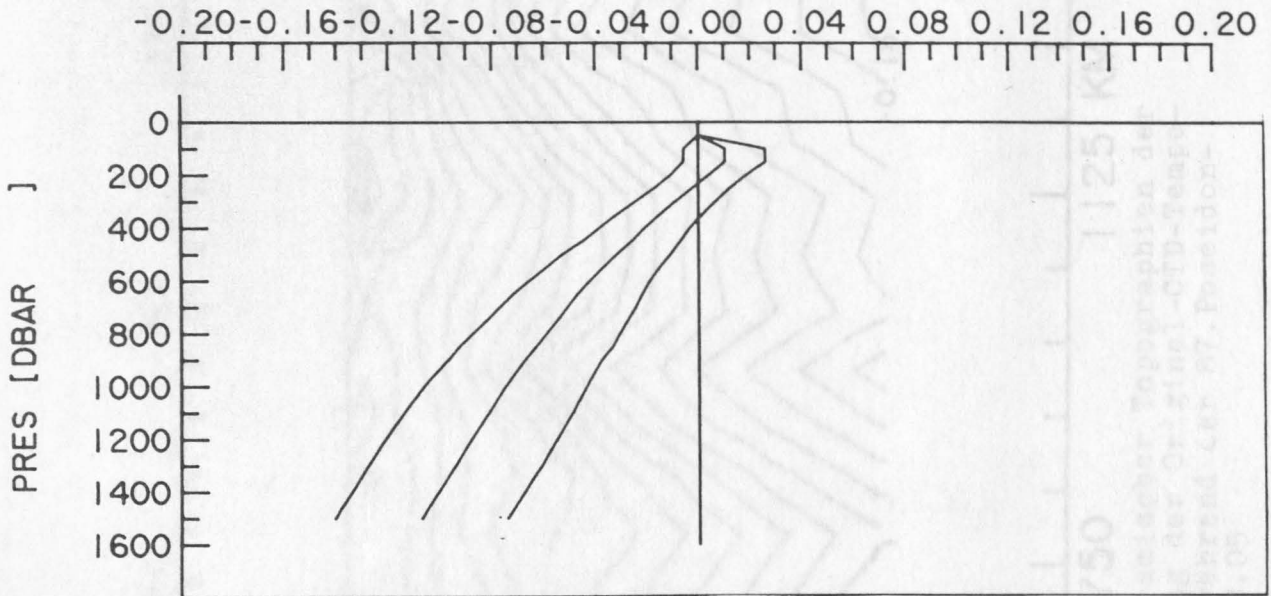


Abb.23 Mittlerer relativer Fehler dynamischer Topographien der XBT/TS-Methode unter Berücksichtigung der Original-CTD-Temperaturwerte und der mittleren Gesamt-TS-Beziehung während der 87. Poseidonreise

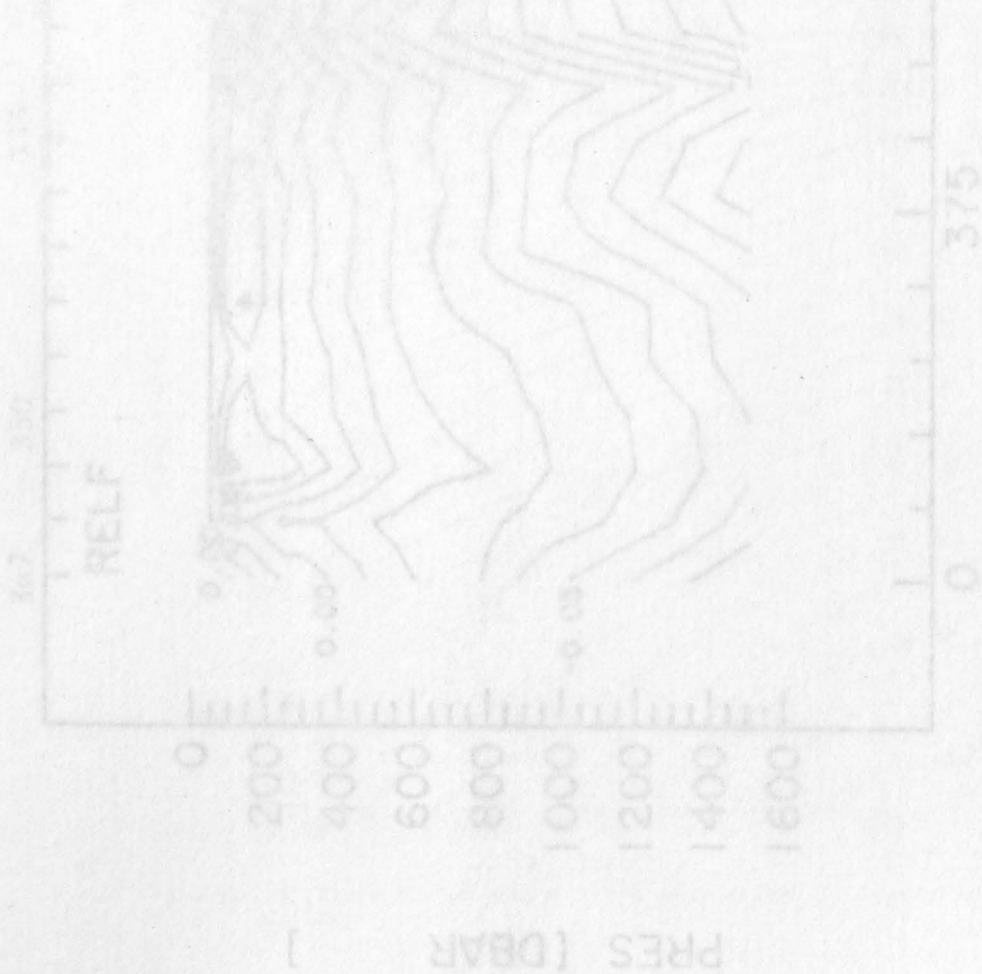


Abb.24 Vertikalschnitt relativer Fehler dynamischer Topographien der XBT/TS-Methode unter Berücksichtigung der Original-CTD-Temperaturwerte und der mittleren Gesamt-TS-Beziehung während der 87. Poseidonreise

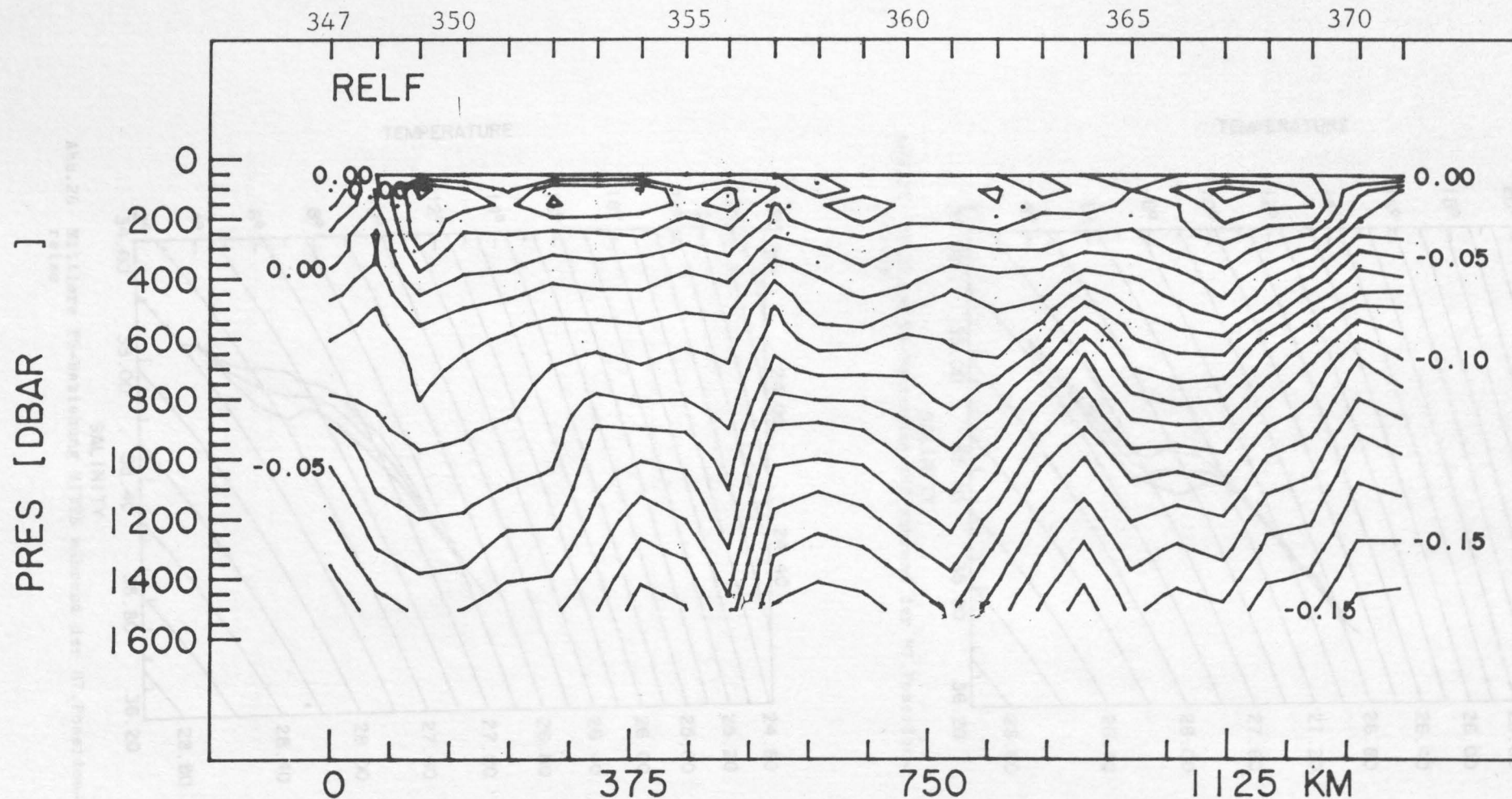


Abb.24 Vertikalschnitt relativer Fehler dynamischer Topographien der XBT/TS-Methode unter Berücksichtigung der Original-CTD-Temperaturwerte mit Gesamt-TS-Beziehung während der 87. Poseidonreise, 50/1500 dbar Linienabstand 0.05

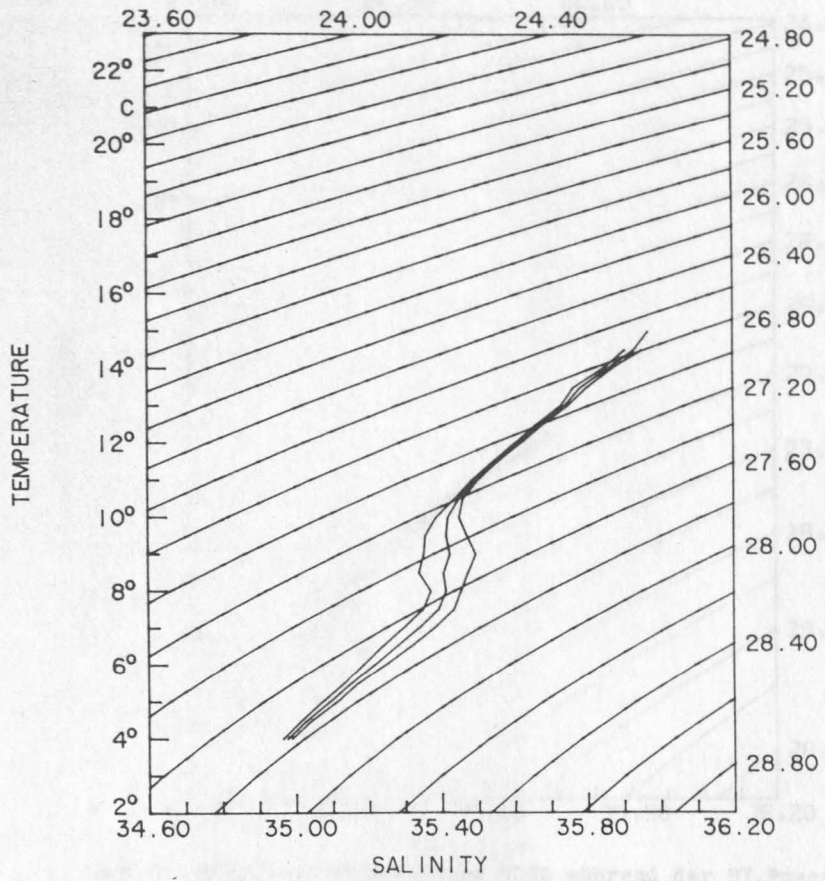


Abb.25 Mittlere TS-Beziehung SUD während der 87.Poseidon-reise

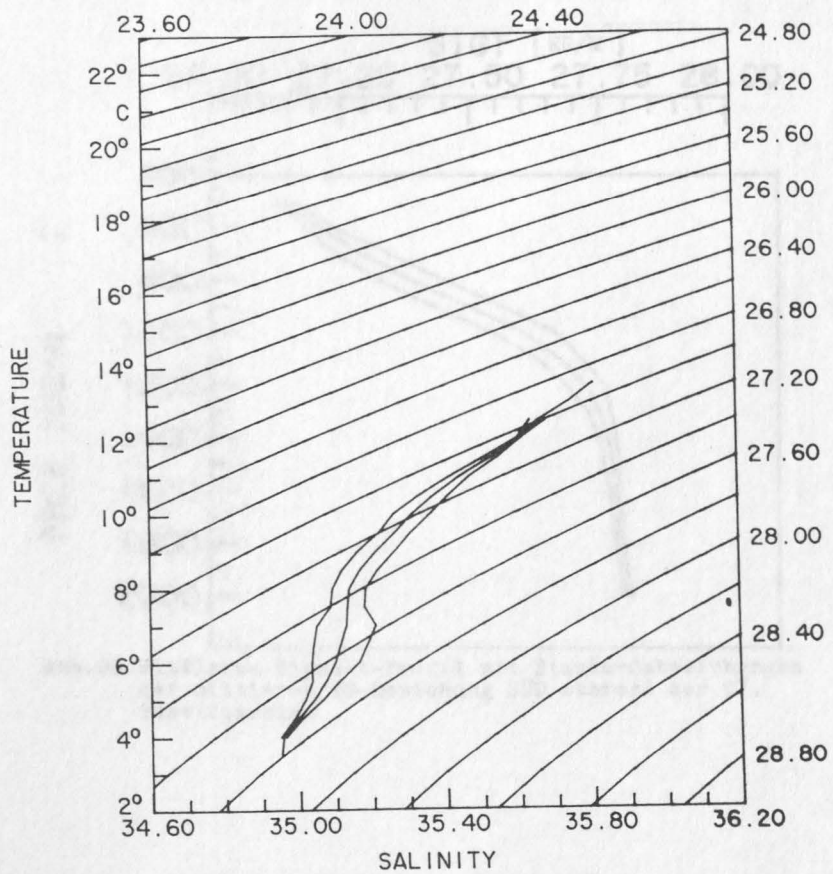


Abb.26 Mittlere TS-Beziehung MITTE während der 87.Poseidon-reise

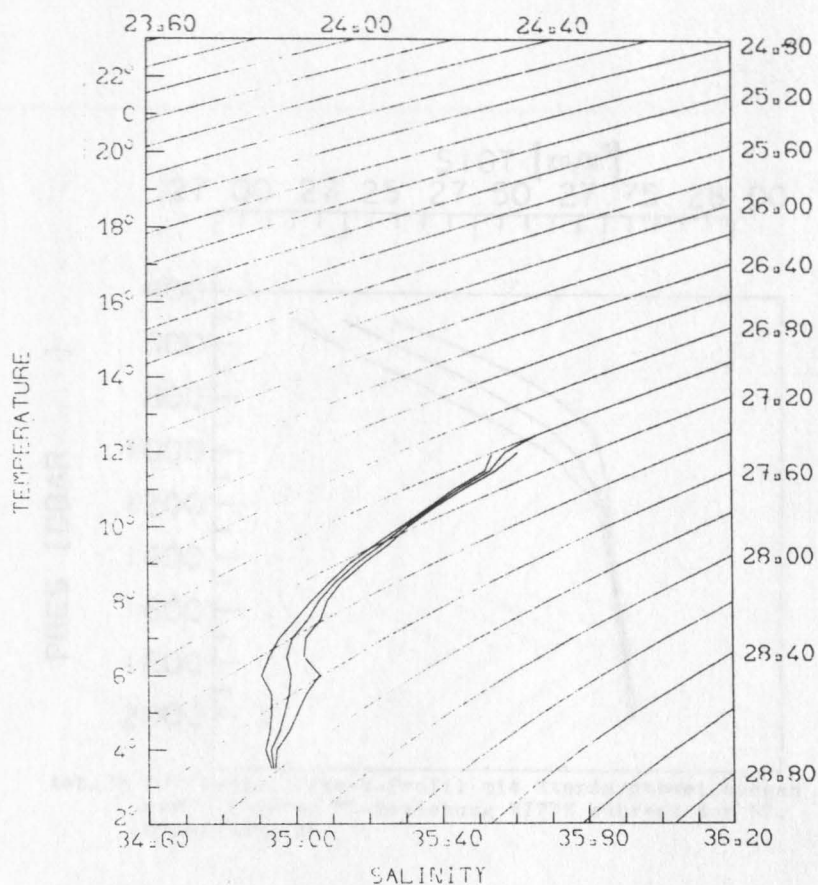


Abb.27 Mittlere TS-Beziehung NORD während der 87.Poseidonreise

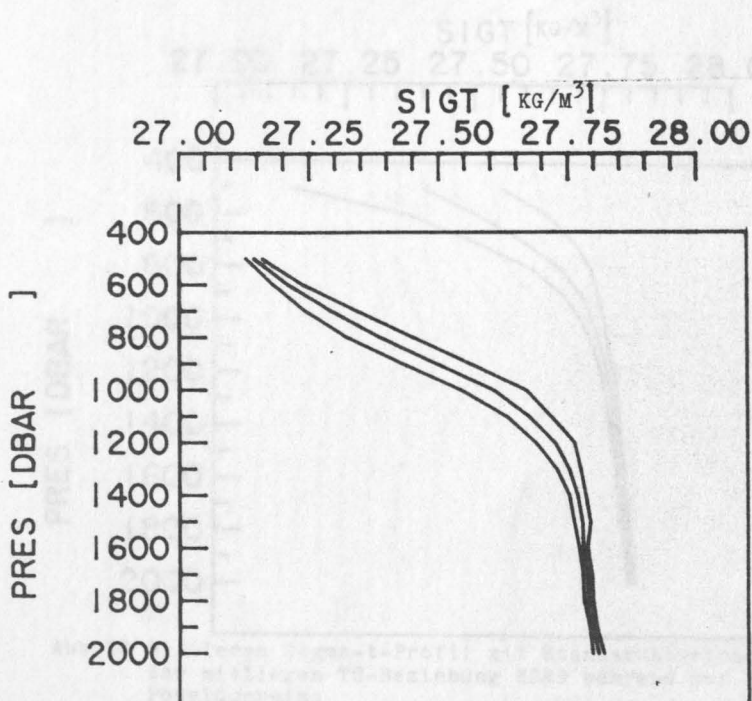


Abb.28 Mittleres Sigma-t-Profil mit Standardabweichungen der mittleren TS-Beziehung SÜD während der 87. Poseidonreise

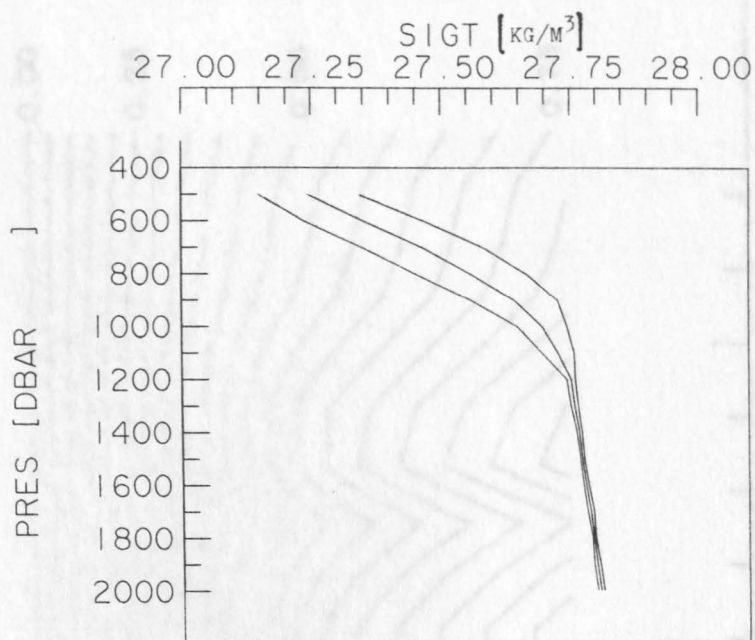


Abb.29 Mittleres Sigma-t-Profil mit Standardabweichungen der mittleren TS-Beziehung MITTE während der 87. Poseidonreise

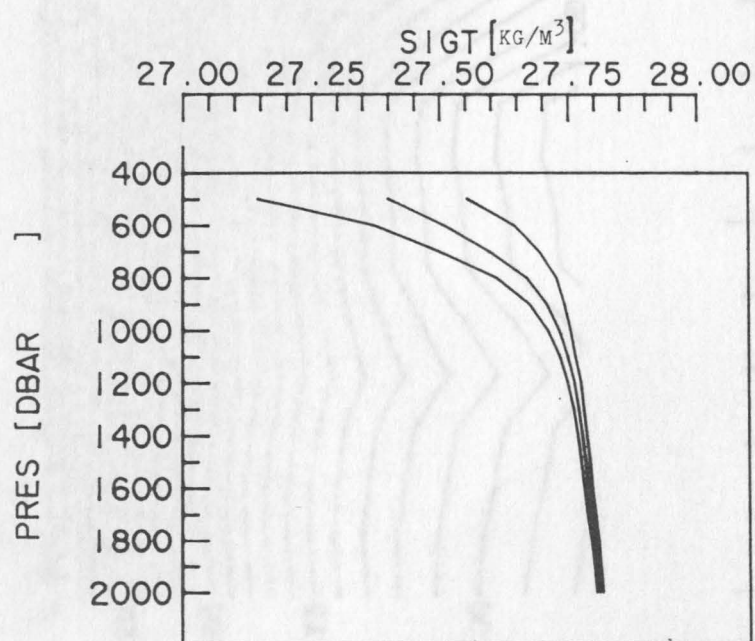


Abb.30 Mittleres Sigma-t-Profil mit Standardabweichungen der mittleren TS-Beziehung NORD während der 87. Poseidonreise

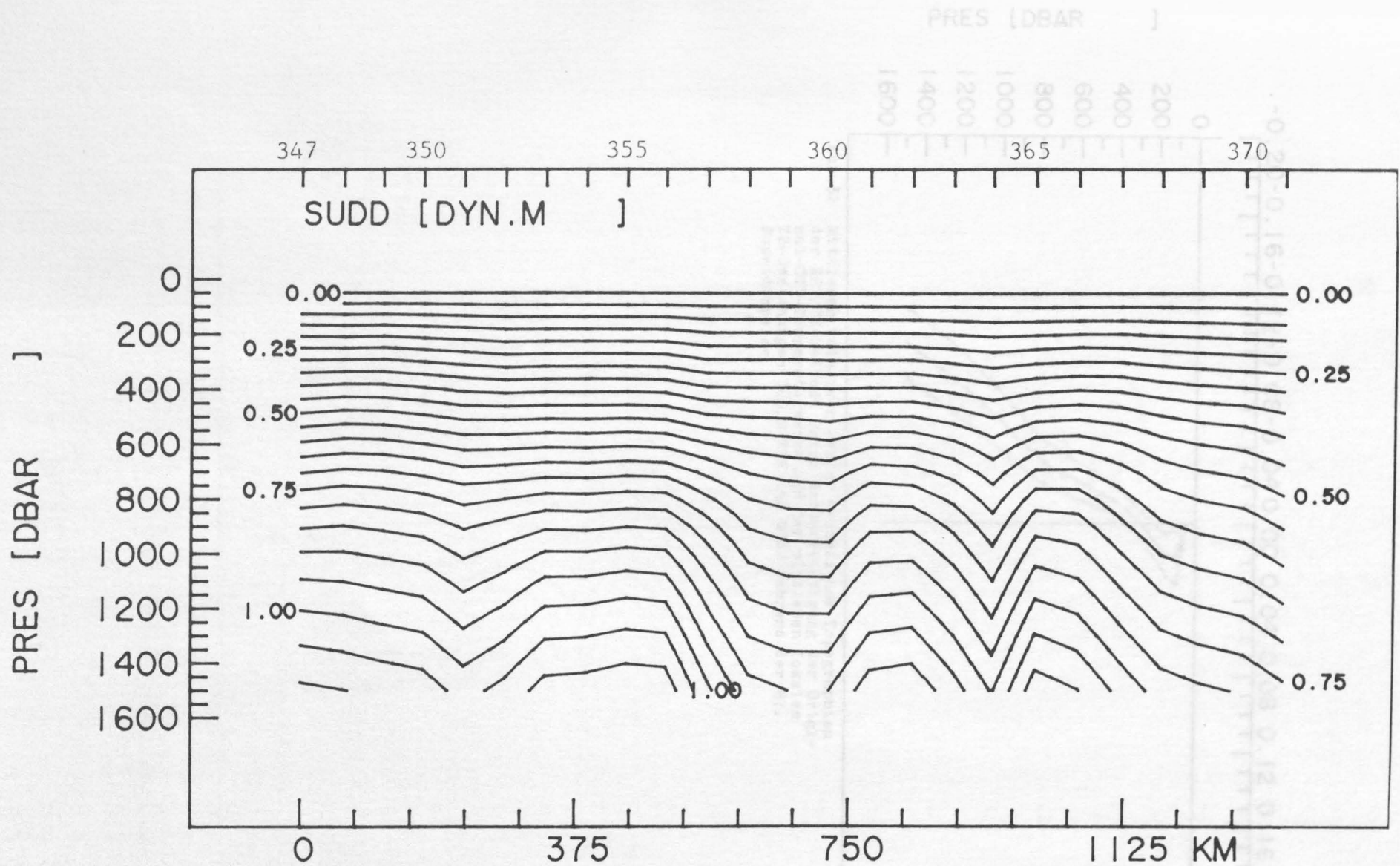


Abb.31 Vertikalschnitt dynamischer Topographien der XBT/TS-Methode unter Berücksichtigung der Original-CTD-Temperaturwerte mit den mittleren lokalen TS-Beziehungen SÜD,MITTE und NORD, 50/1500 dbar Linienabstand 0.05 dynm

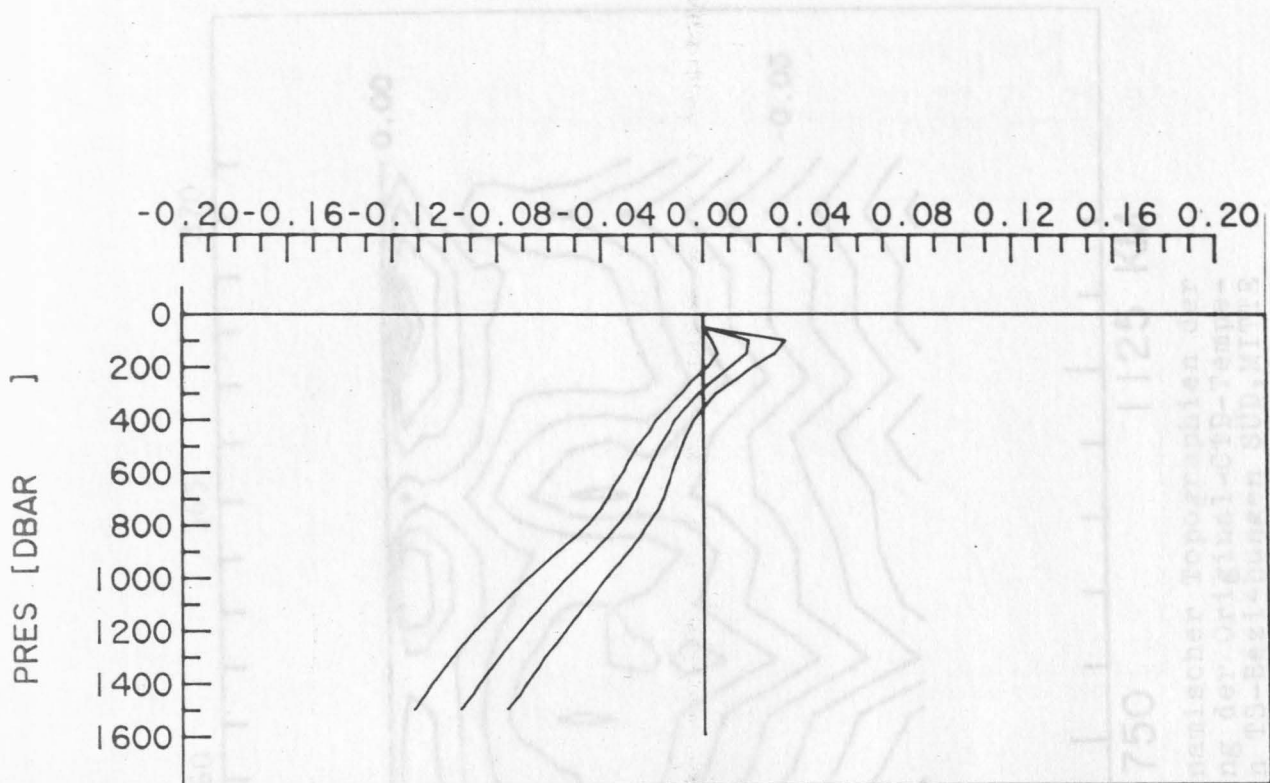


Abb.32 Mittlerer relativer Fehler dynamischer Topographien der XBT/TS-Methode unter Berücksichtigung der Original-CTD-Temperaturwerte und der mittleren lokalen TS-Beziehungen SÜD,MITTE und NORD während der 87. Poseidonreise

Abb.33 Vertikalschnitt mit relativer Fehler dynamischer Topographien der XBT/TS-Methode unter Berücksichtigung der Original-CTD-Temperaturwerte mit den mittleren lokalen TS-Beziehungen SÜD,MITTE und NORD während der 87. Poseidonreise, 50/1500 Meter Liniendenabstand 0.05

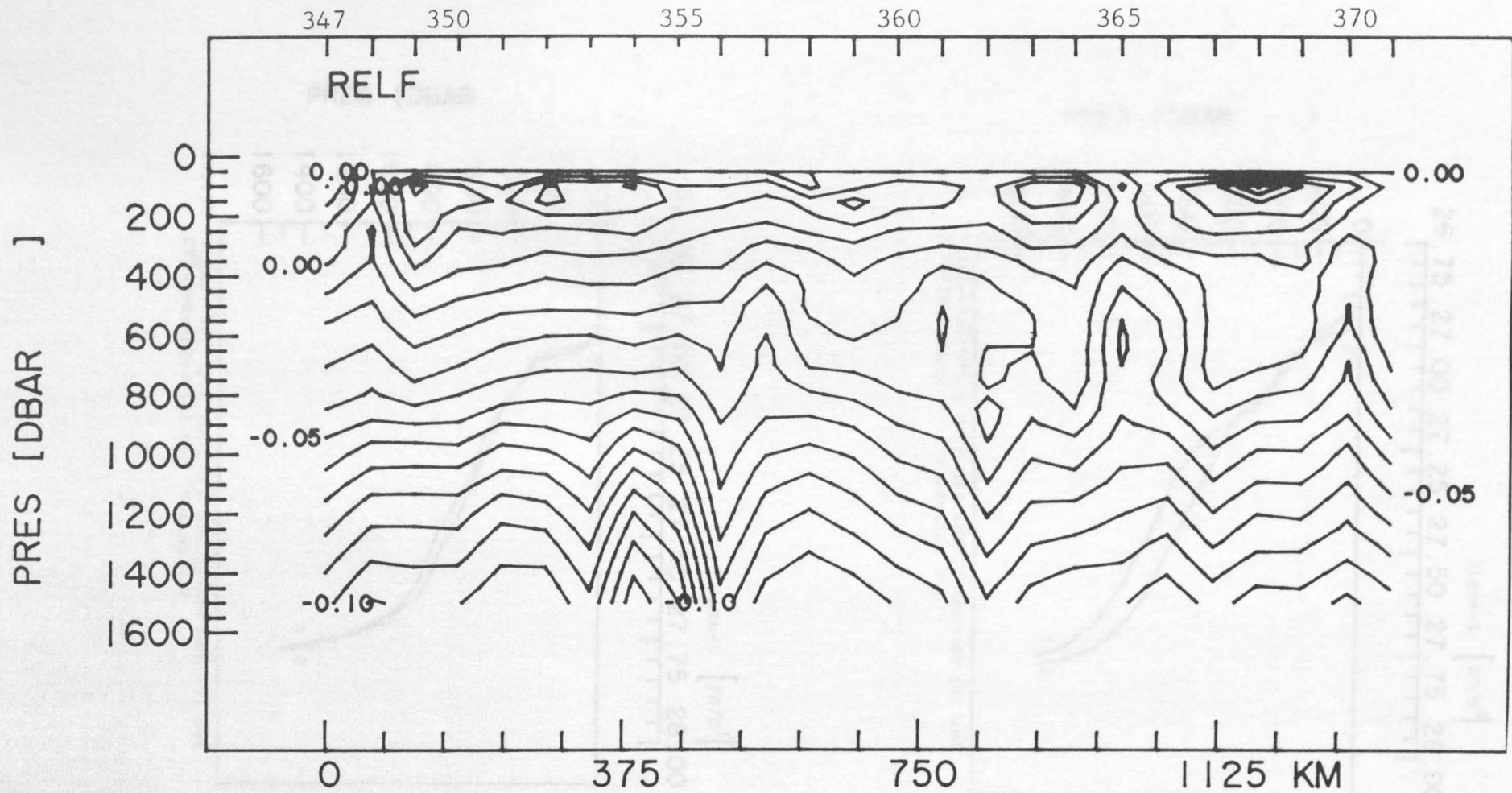


Abb.33 Vertikalschnitt relativer Fehler dynamischer Topographien der XBT/TS-Methode unter Berücksichtigung der Original-CTD-Temperaturwerte mit den mittleren lokalen TS-Beziehungen SÜD,MITTE und NORD während der 87.Poseidonreise, 50/1500 dbar Linienabstand 0.05

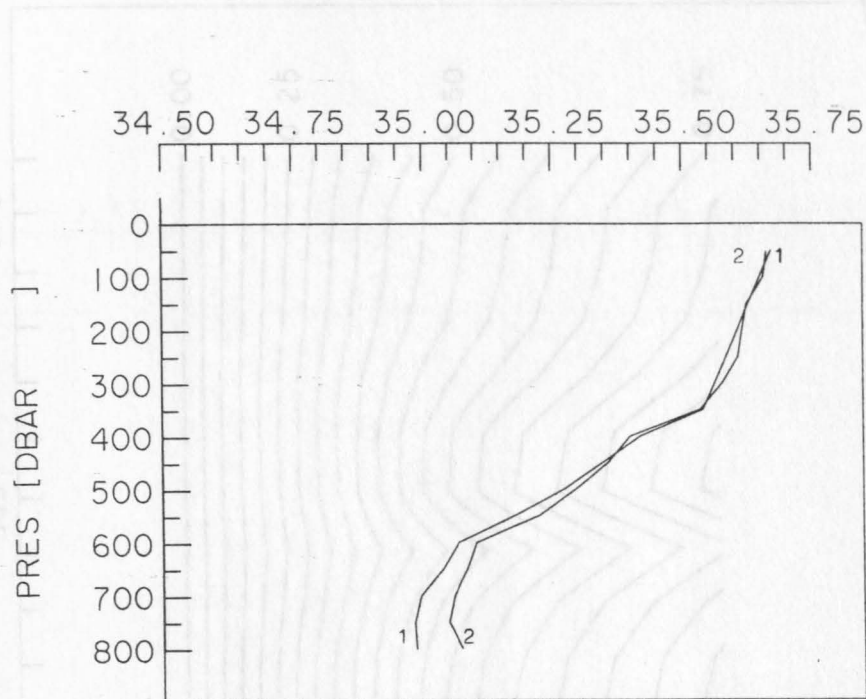


Abb. 36 Salzgehaltsprofile nach der XBT/TS-Methode (1) und CTD-Messungen (2) der Station 362

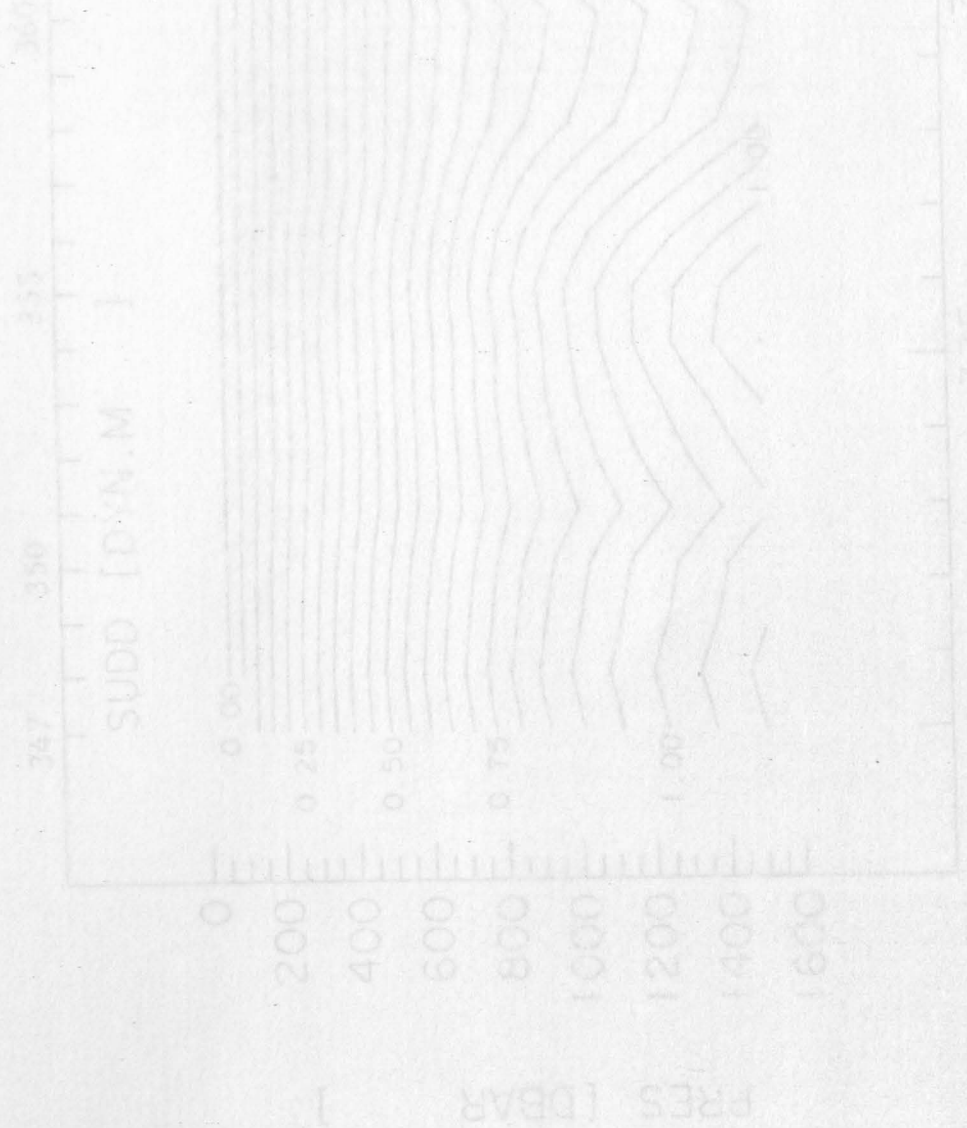


Abb. 37 Vertikalschnitt dynamischer Topographien der IBT/TS-Methode unter Berücksichtigung der Original-CTD-Temperatur- und Salzgehaltswerte während der 47. Forschungsreise, 50/1400 dbar. Liniendruck 0,05 dyn

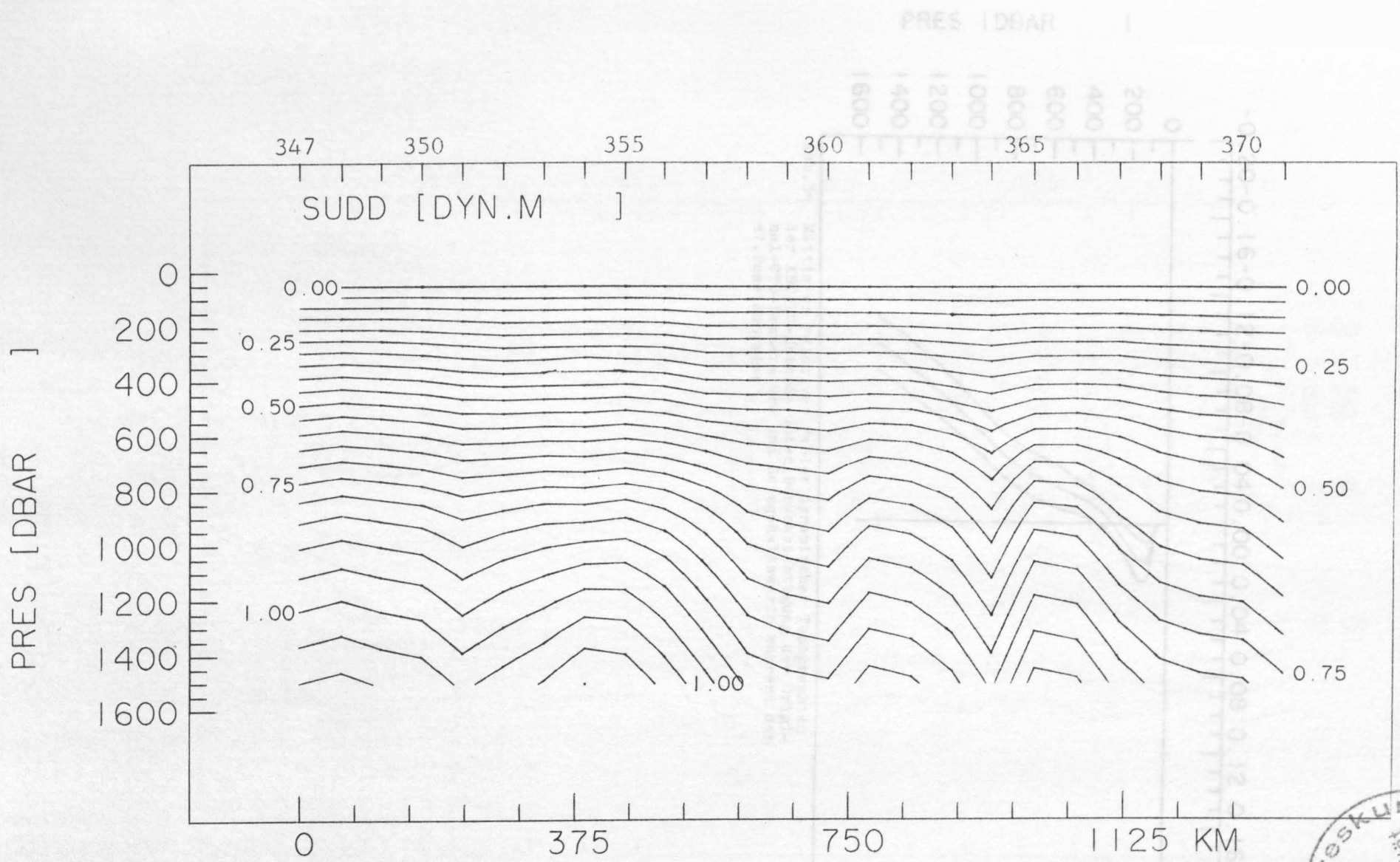


Abb.37 Vertikalschnitt dynamischer Topographien der XBT/TS-Methode unter Berücksichtigung der Original-CTD-Temperatur- und Salzgehaltswerte während der 87.Poseidonreise, 50/1500 dbar Linienabstand 0.05 dynm



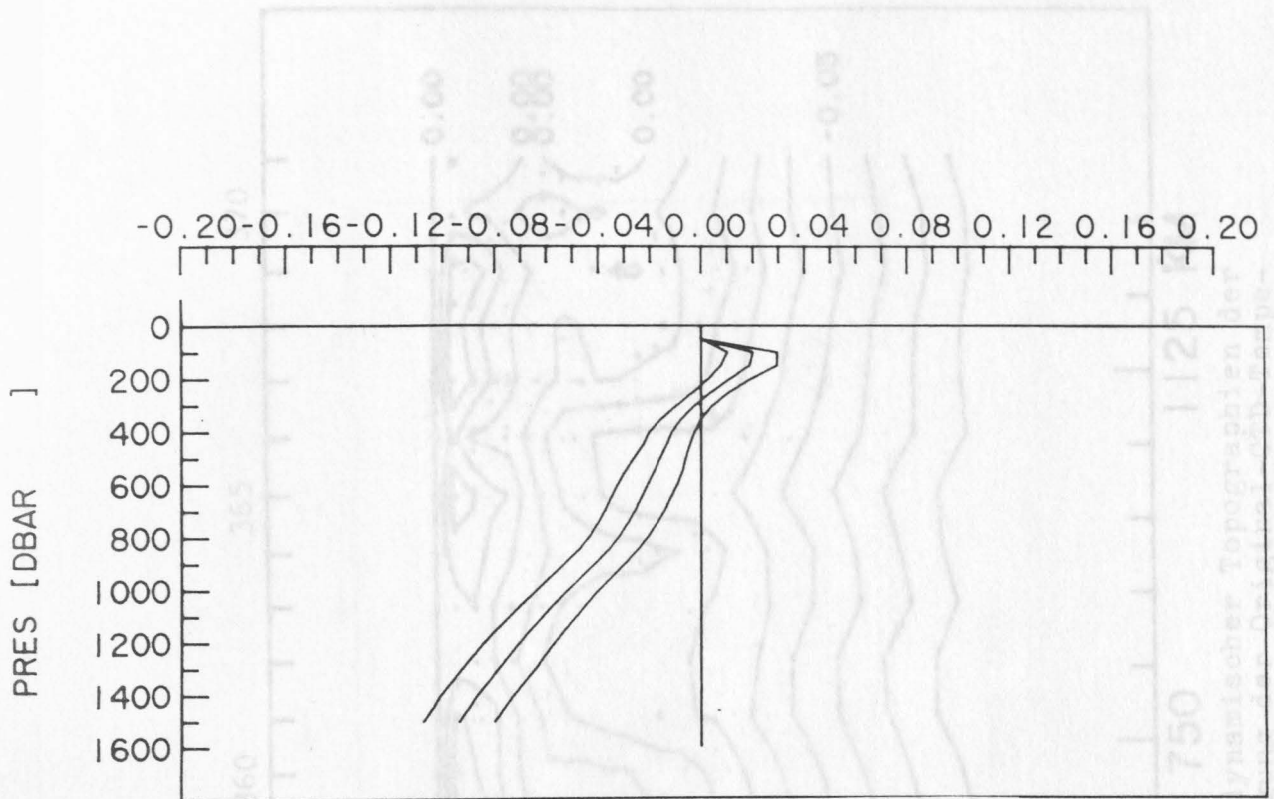


Abb. 38 Mittlerer relativer Fehler dynamischer Topographien der XBT/TS-Methode unter Berücksichtigung der Original-CTD-Temperatur- und Salzgehaltswerte während der 87. Poseidonreise

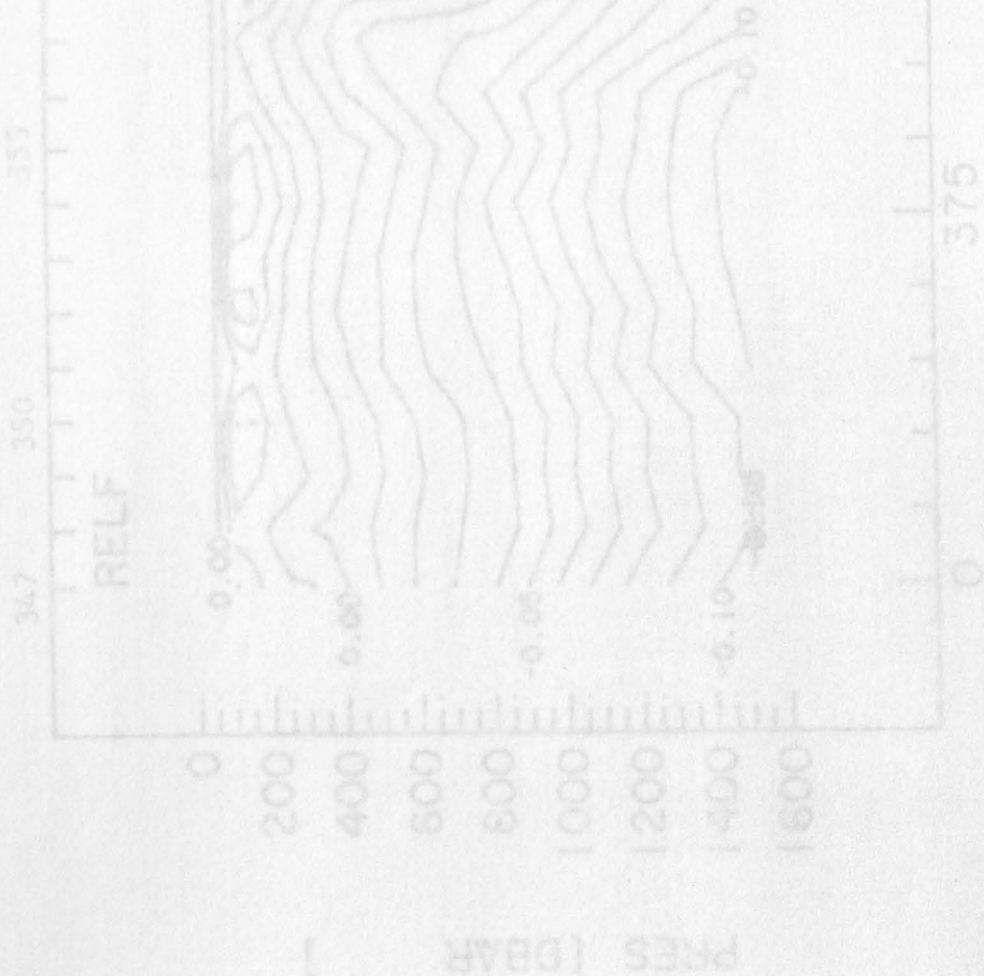


Abb. 39 Vertikalschnitt relativer Fehler dynamischer Topographien der XBT/TS-Methode unter Berücksichtigung der Original-CTD-Temperatur- und Salzgehaltswerte während der 87. Poseidonreise, 50/1500 dbar. Liniendicke 0,05

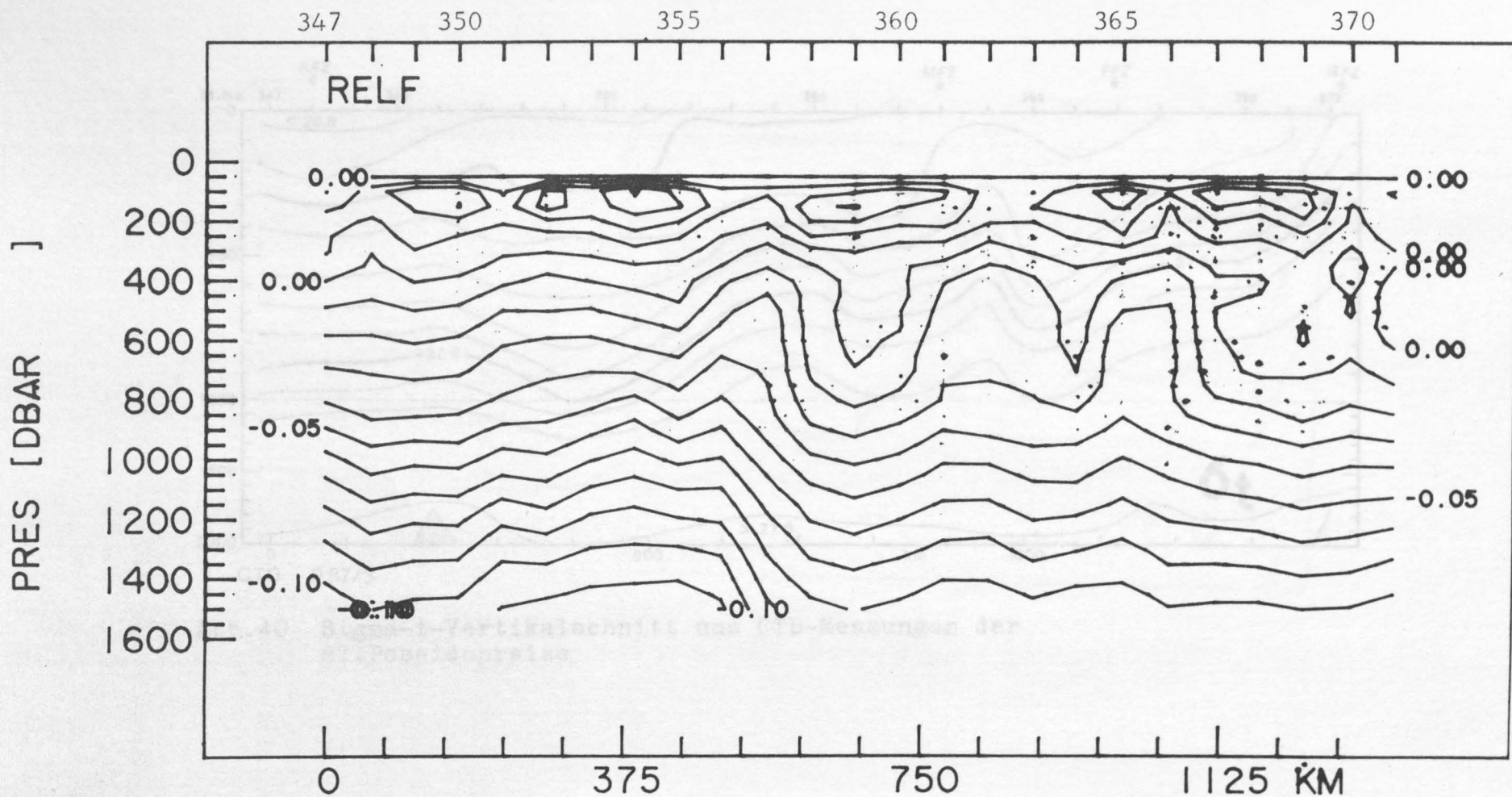


Abb.39 Vertikalschnitt relativer Fehler dynamischer Topographien der XBT/TS-Methode unter Berücksichtigung der Original-CTD-Temperatur- und Salzgehaltswerte während der 87.Poseidonreise, 50/1500 dbar Linienabstand 0.05

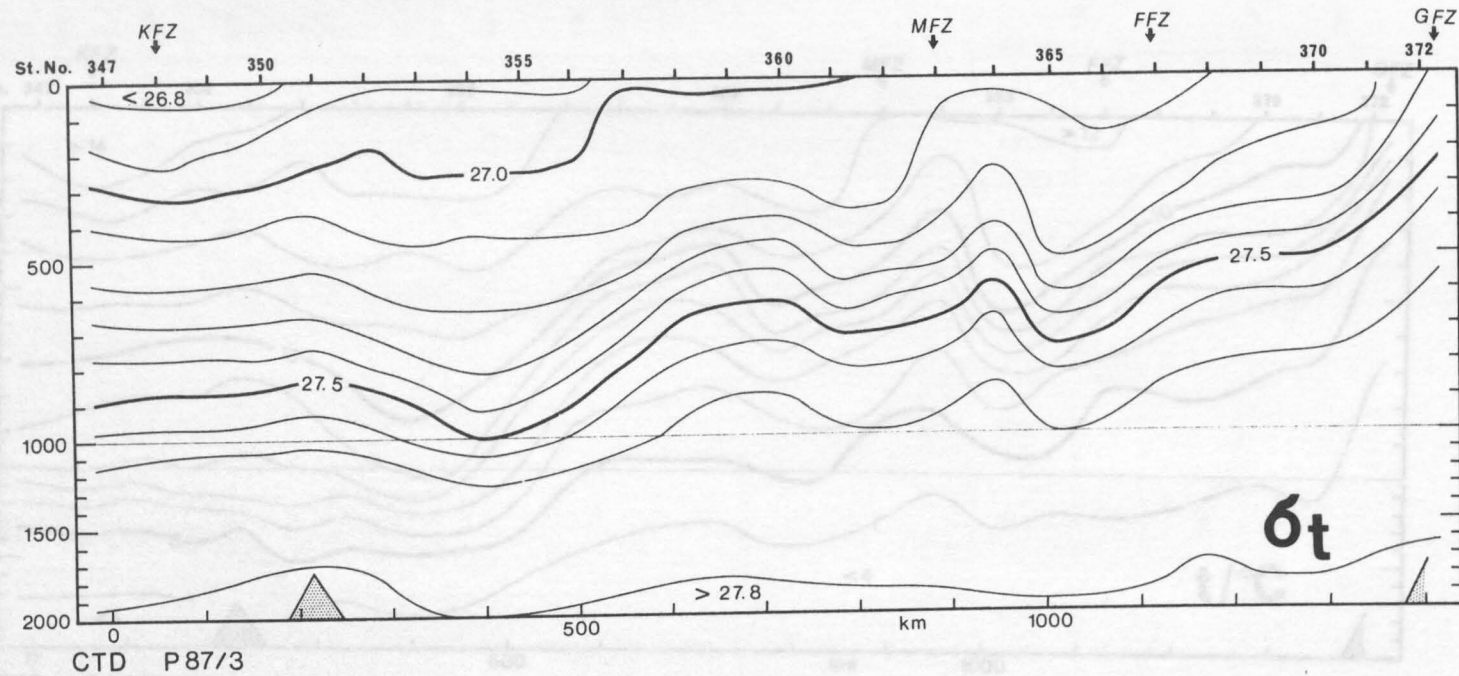


Abb.40 Sigma-t-Vertikalschnitt aus CTD-Messungen der 87.Poseidonreise

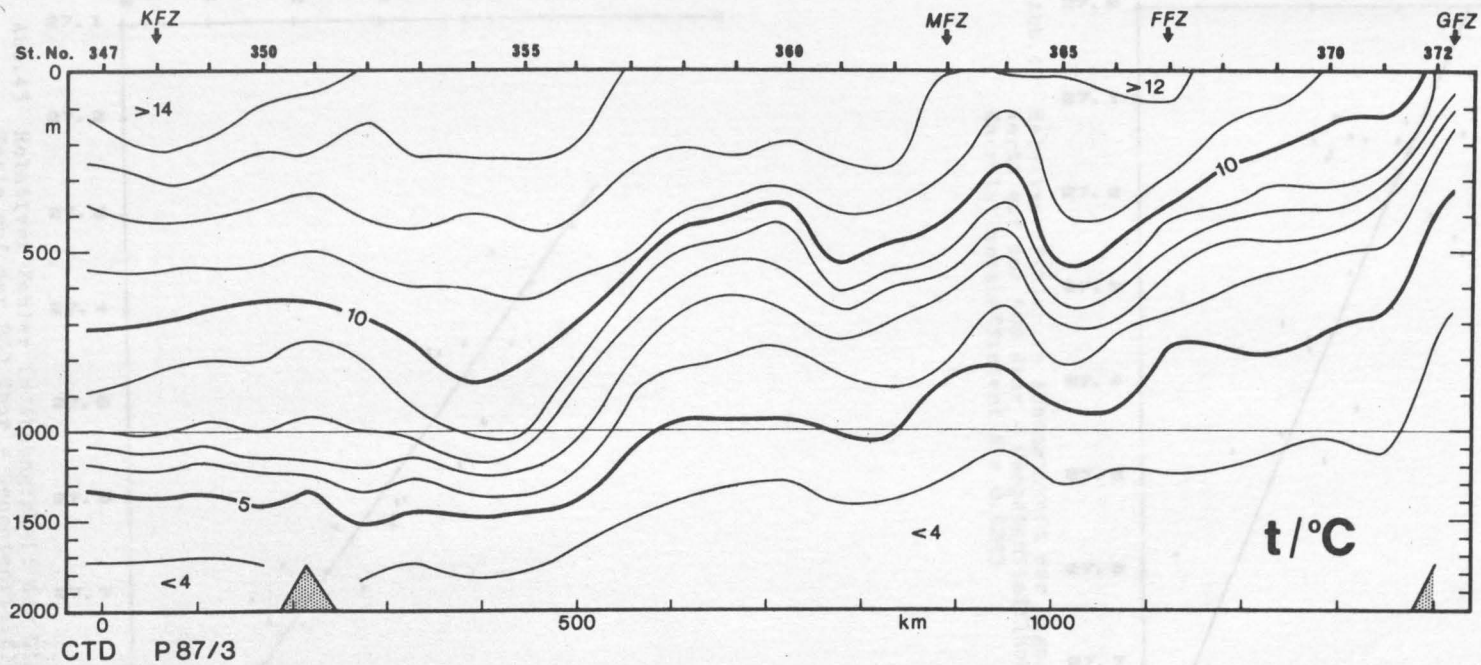


Abb. 41 Temperatur-Vertikalschnitt aus CTD-Messungen der 87. Poseidonreise

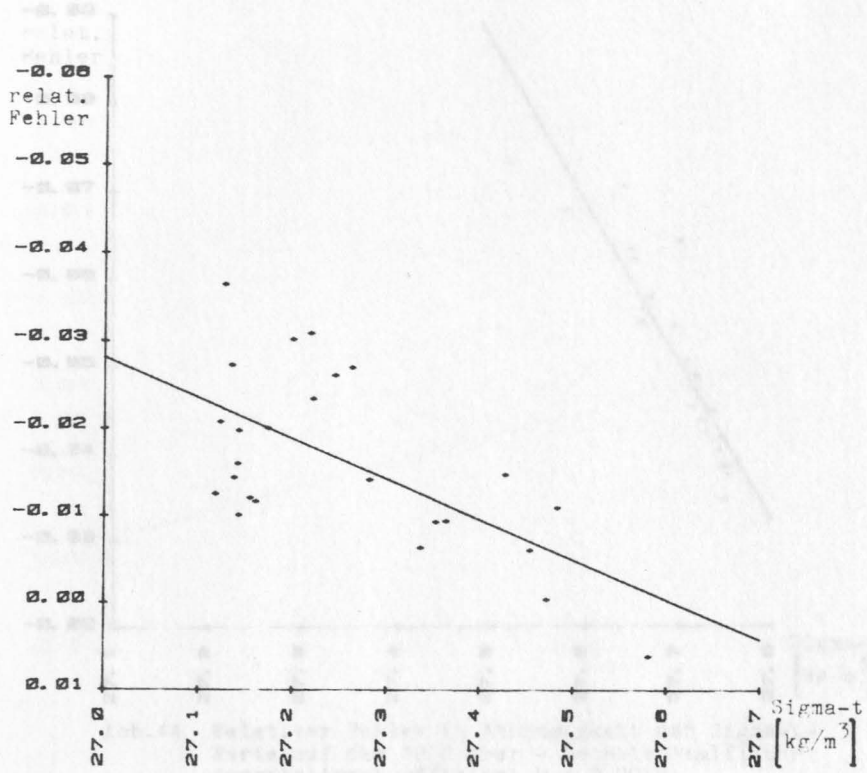


Abb.42 Relativer Fehler in Abhängigkeit der Sigma-t-Werte auf der 500 dbar - Geopotentialfläche
Korrelationskoeffizient $R = 0.6293$

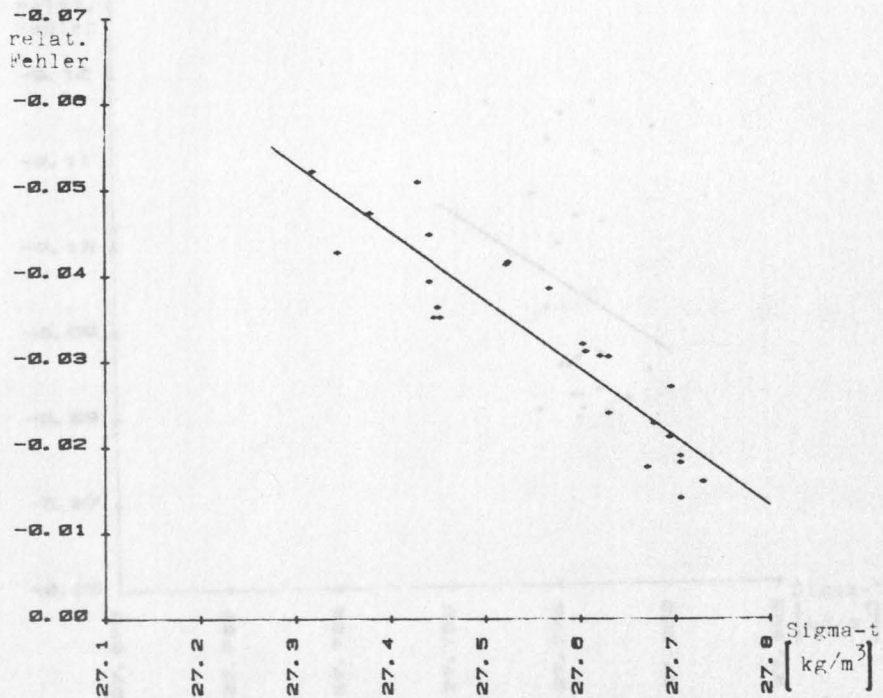


Abb.43 Relativer Fehler in Abhängigkeit der Sigma-t-Werte auf der 300 dbar - Geopotentialfläche
Korrelationskoeffizient $R = 0.9098$

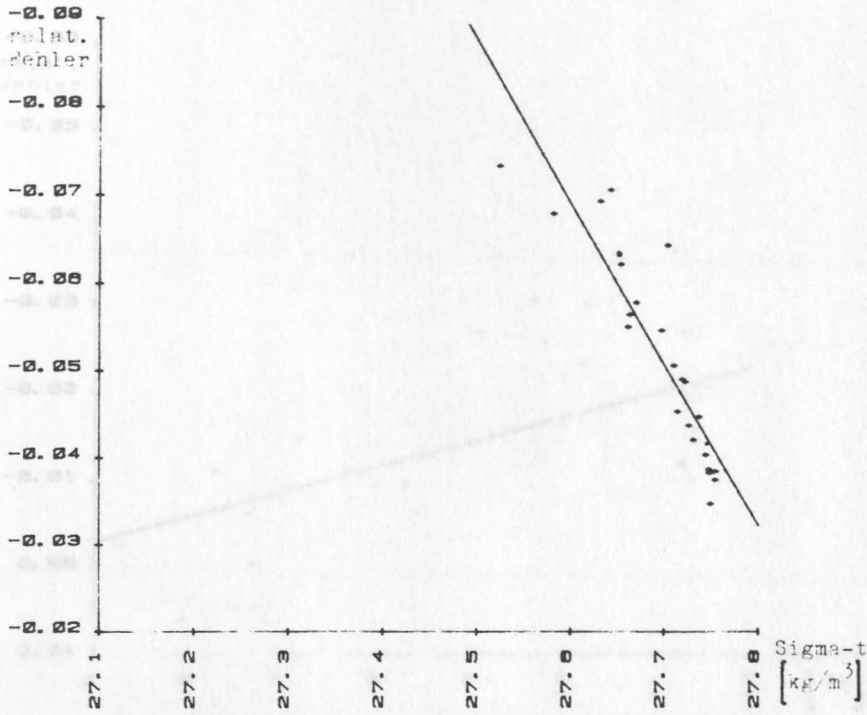


Abb.44 Relativer Fehler in Abhängigkeit der Sigma-t-Werte auf der 1000 dbar - Geopotentialfläche
Korrelationskoeffizient $R = 0.9048$

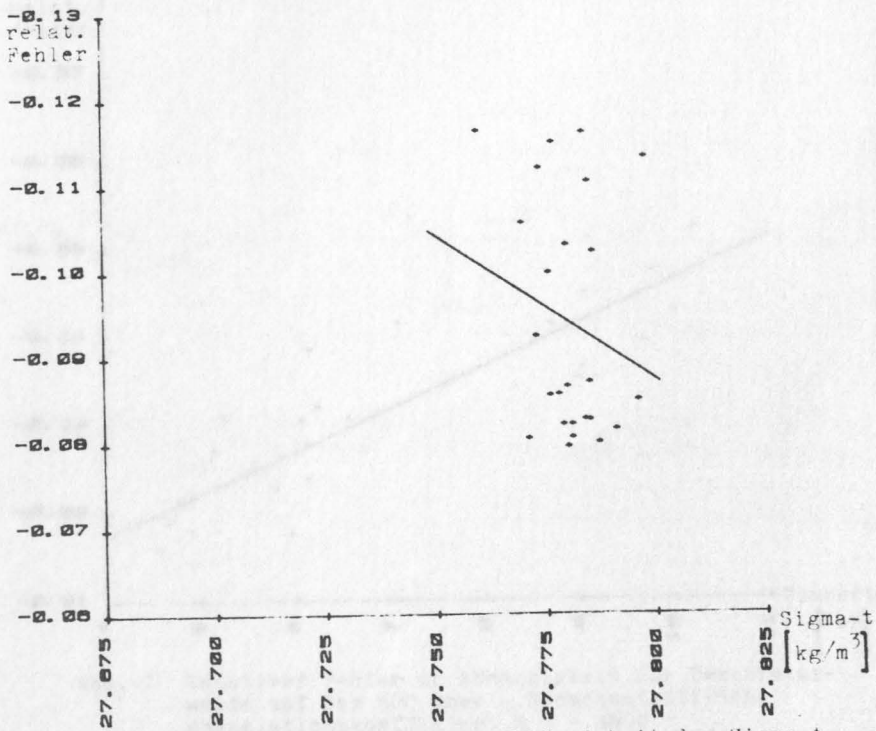


Abb.45 Relativer Fehler in Abhängigkeit der Sigma-t-Werte auf der 1500 dbar - Geopotentialfläche
Korrelationskoeffizient $R = 0.2011$

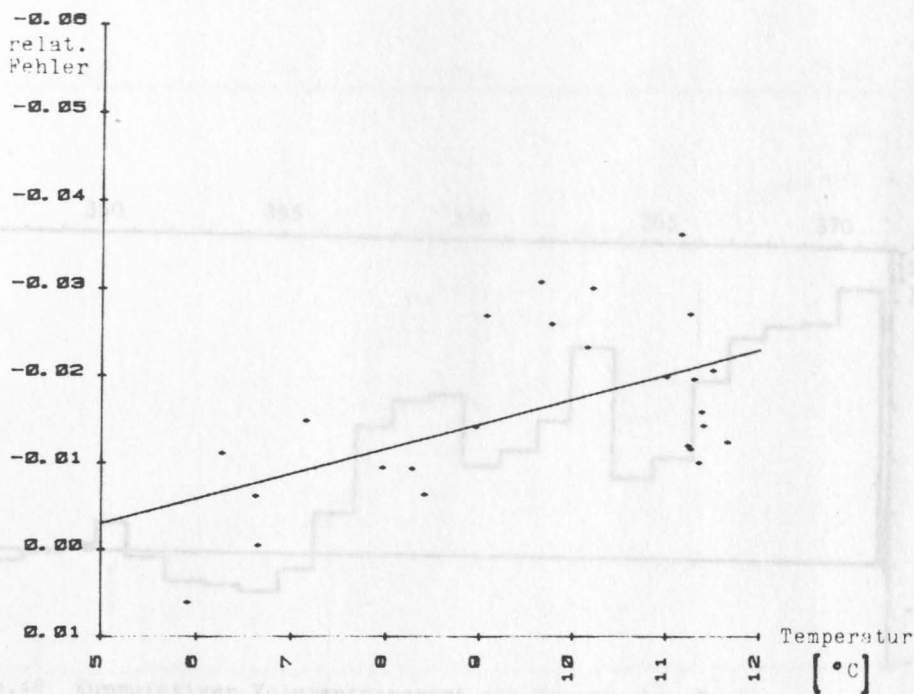


Abb.46 Relativer Fehler in Abhängigkeit der Temperaturwerte auf der 500 dbar - Geopotentialfläche
Korrelationskoeffizient $R = -.5502$

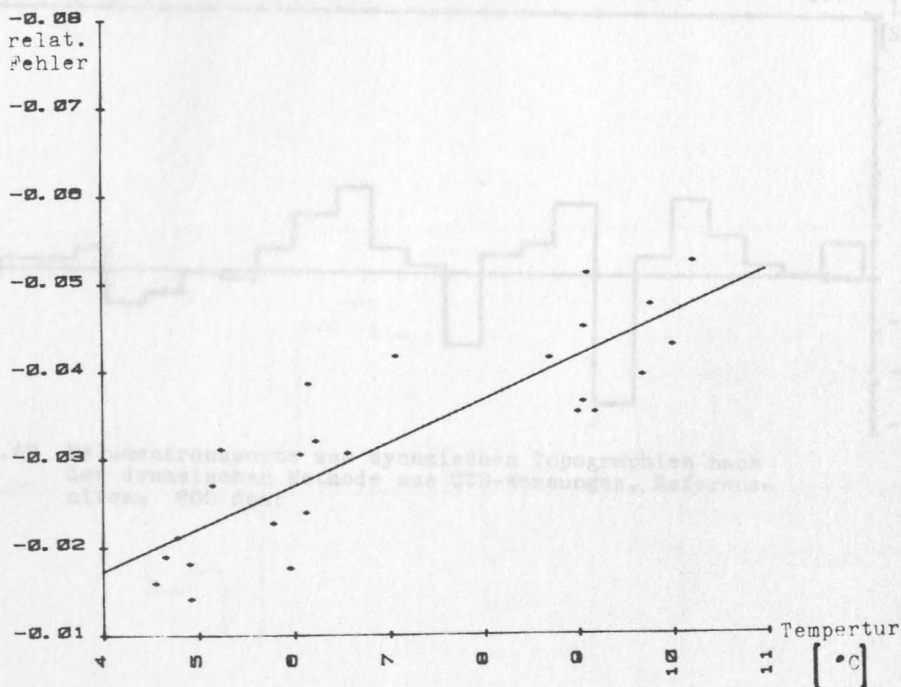


Abb.47 Relativer Fehler in Abhängigkeit der Temperaturwerte auf der 800 dbar - Geopotentialfläche
Korrelationskoeffizient $R = -.8602$

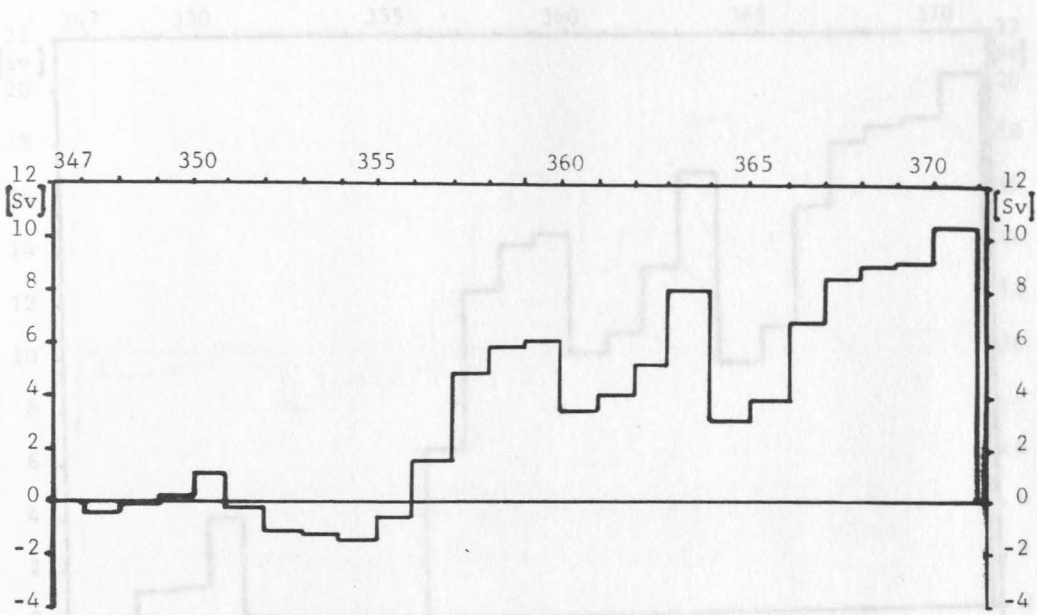


Abb.48 Kummulativer Volumentransport aus dynamischen Topographien nach der dynamischen Methode aus CTD-Messungen, Referenzniveau 800 dbar

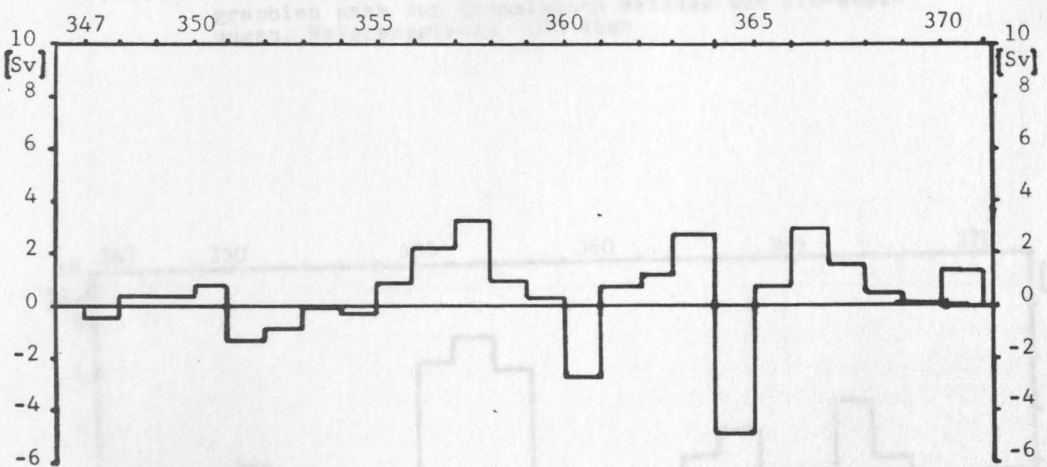


Abb.49 Volumentransporte aus dynamischen Topographien nach der dynamischen Methode aus CTD-Messungen, Referenzniveau 800 dbar

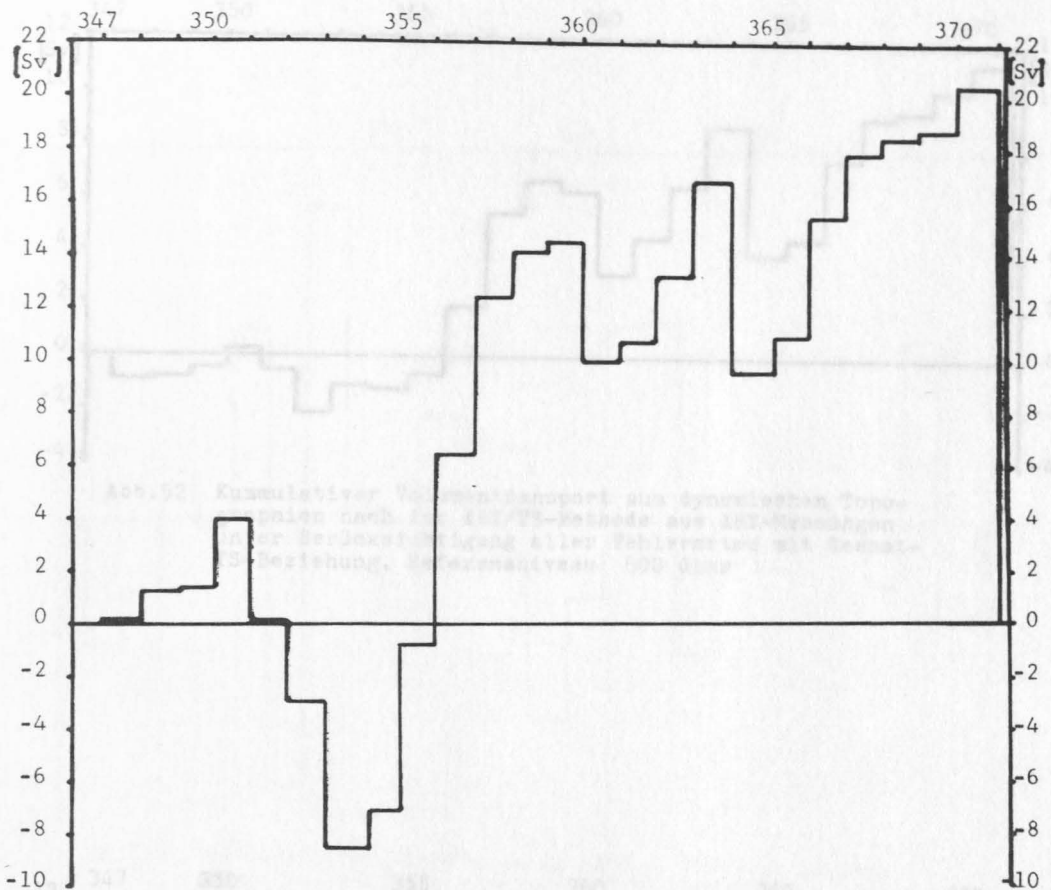


Abb. 50 Kummulativer Volumentransport aus dynamischen Topographien nach der dynamischen Methode aus CTD-Messungen, Referenzniveau 1500 dbar

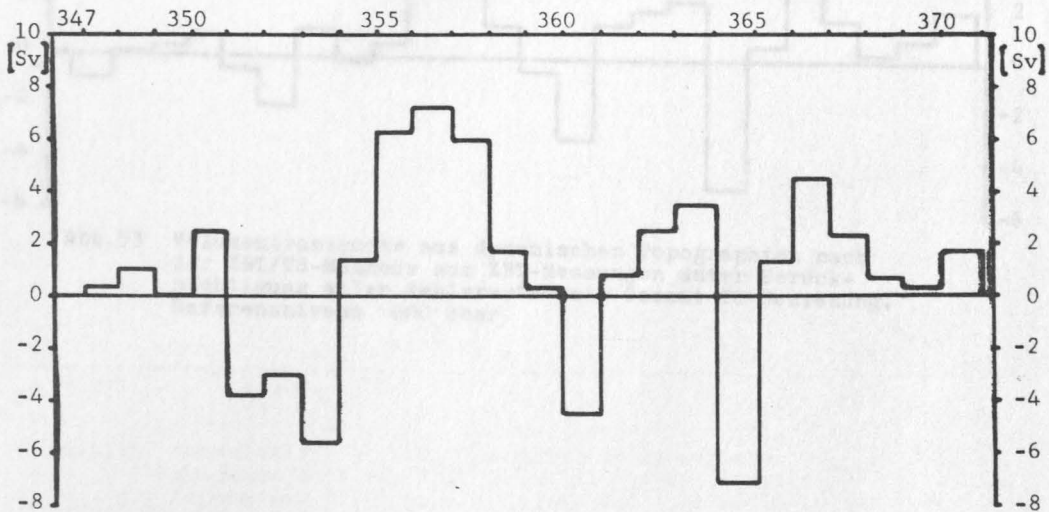


Abb. 51 Volumentransporte aus dynamischen Topographien nach der dynamischen Methode aus CTD-Messungen, Referenzniveau 1500 dbar

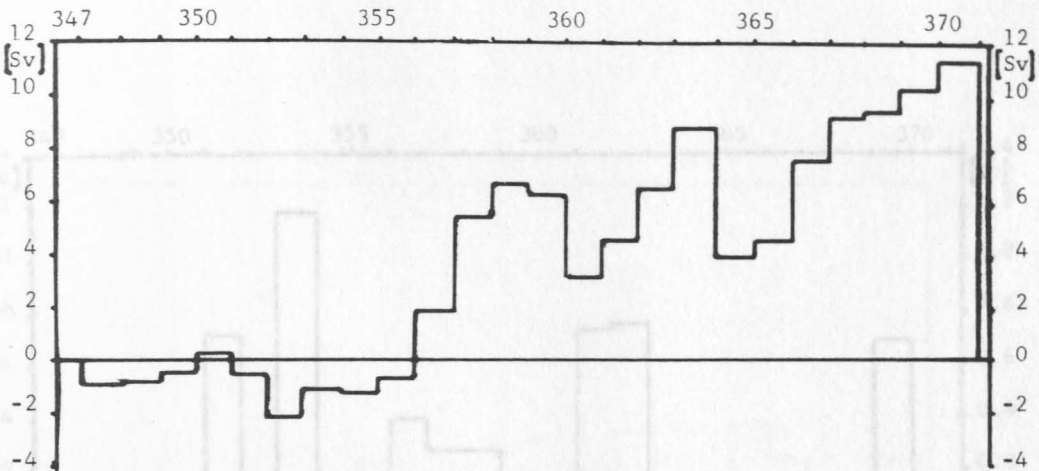


Abb.52 Kummulativer Volumentransport aus dynamischen Topographien nach der XBT/TS-Methode aus XBT-Messungen unter Berücksichtigung aller Fehlerarten mit Gesamt-TS-Beziehung, Referenzniveau 800 dbar

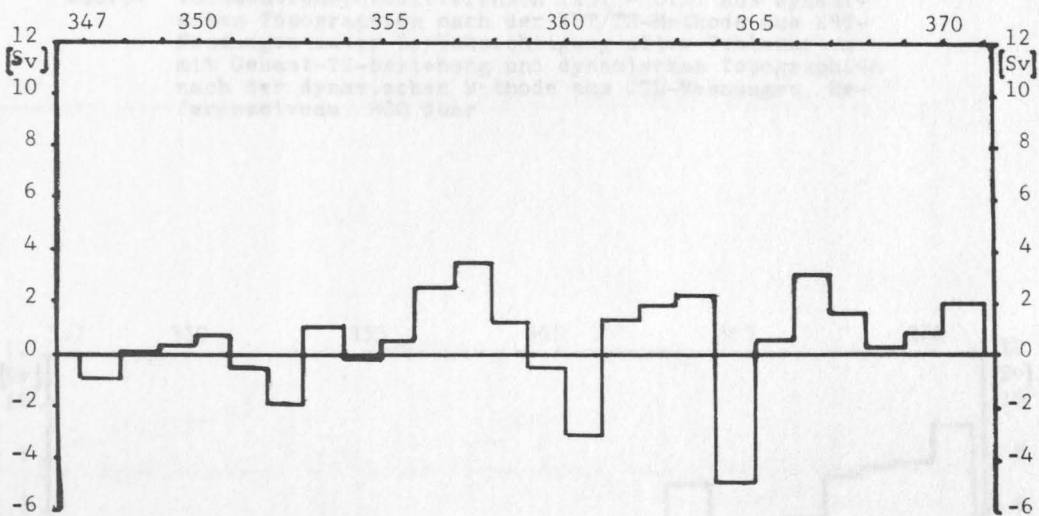


Abb.53 Volumentransporte aus dynamischen Topographien nach der XBT/TS-Methode aus XBT-Messungen unter Berücksichtigung aller Fehlerarten mit Gesamt-TS-Beziehung, Referenzniveau 800 dbar

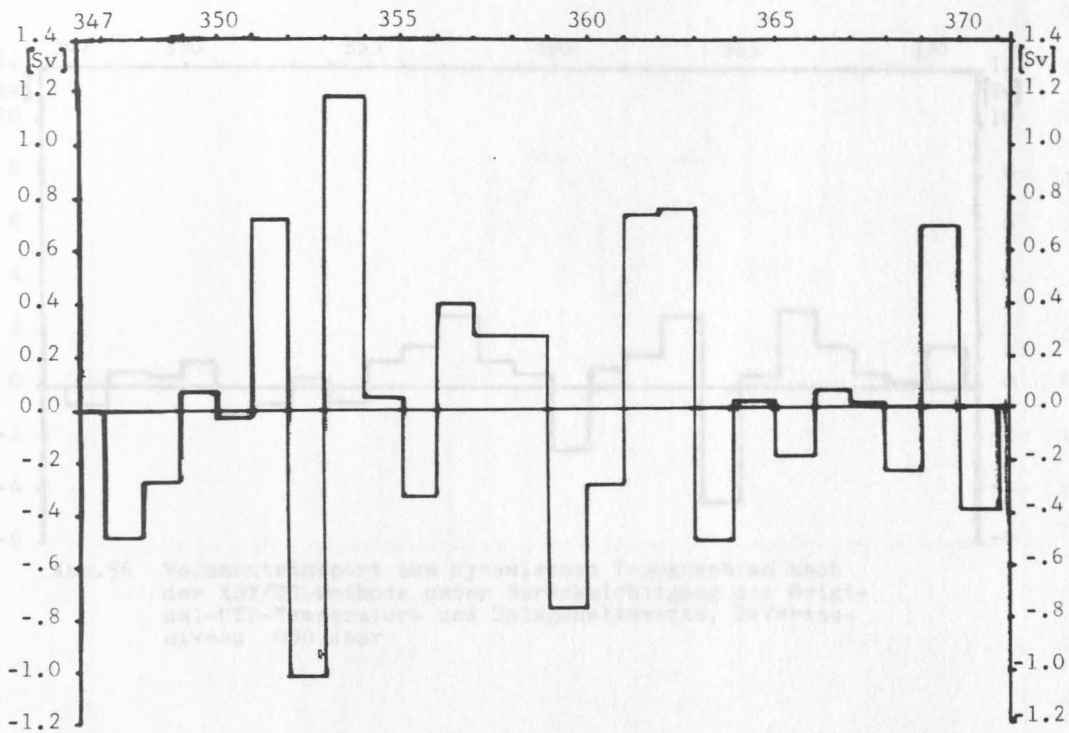


Abb.54 Volumentransportdifferenzen (XBT - CTD) aus dynamischen Topographien nach der XBT/TS-Methode aus XBT-Messungen unter Berücksichtigung aller Fehlerarten mit Gesamt-TS-Beziehung und dynamischen Topographien nach der dynamischen Methode aus CTD-Messungen, Referenzniveau 800 dbar

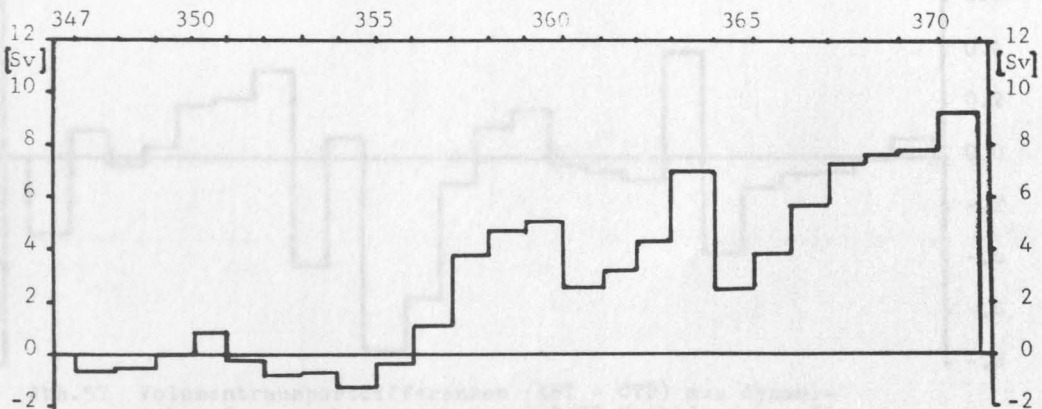


Abb.55 Kummulativer Volumentransport aus dynamischen Topographien nach der XBT/TS-Methode unter Berücksichtigung der Original-CTD-Temperatur- und Salzgehaltswerte, Referenzniveau 800 dbar

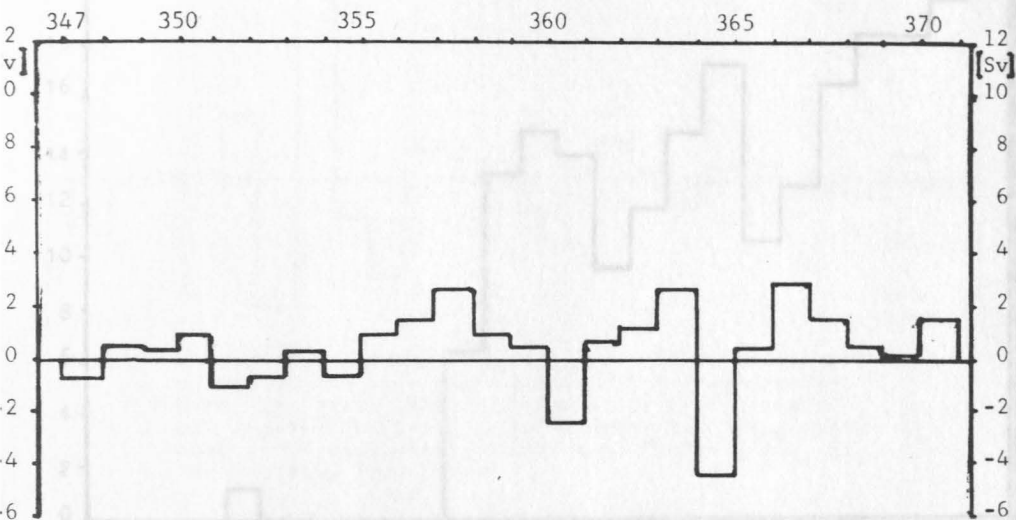


Abb. 56 Volumentransport aus dynamischen Topographien nach der XBT/TS-Methode unter Berücksichtigung der Original-CTD-Temperatur- und Salzgehaltswerte, Referenzniveau 800 dbar

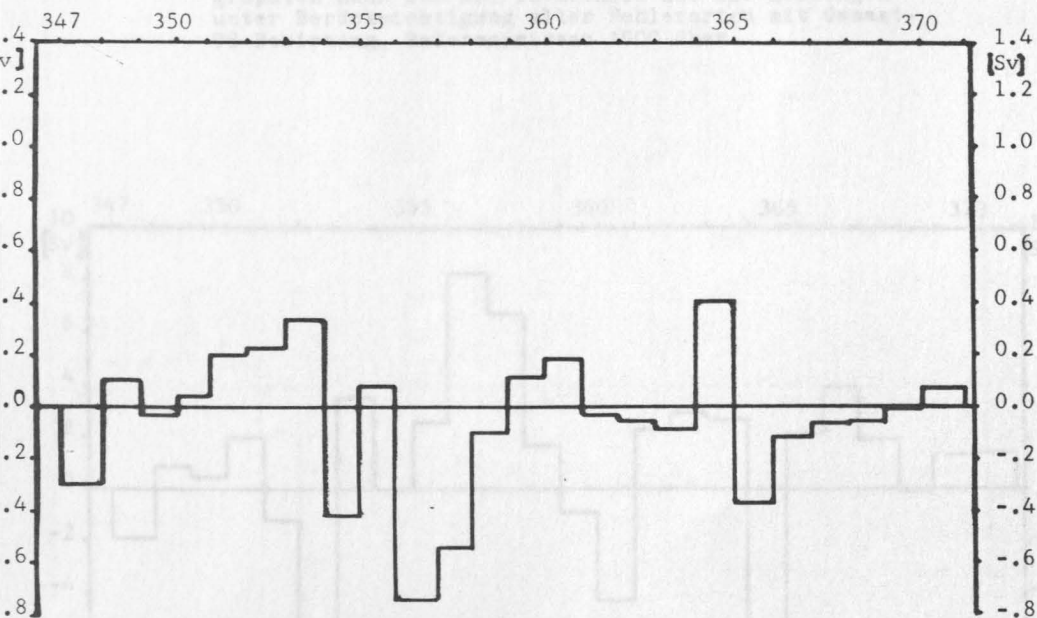


Abb. 57 Volumentransportdifferenzen (XBT - CTD) aus dynamischen Topographien nach der XBT/TS-Methode unter Berücksichtigung der Original-CTD-Temperatur- und Salzgehaltswerte und dynamischen Topographien nach der dynamischen Methode aus CTD-Messungen, Referenzniveau-800 dbar

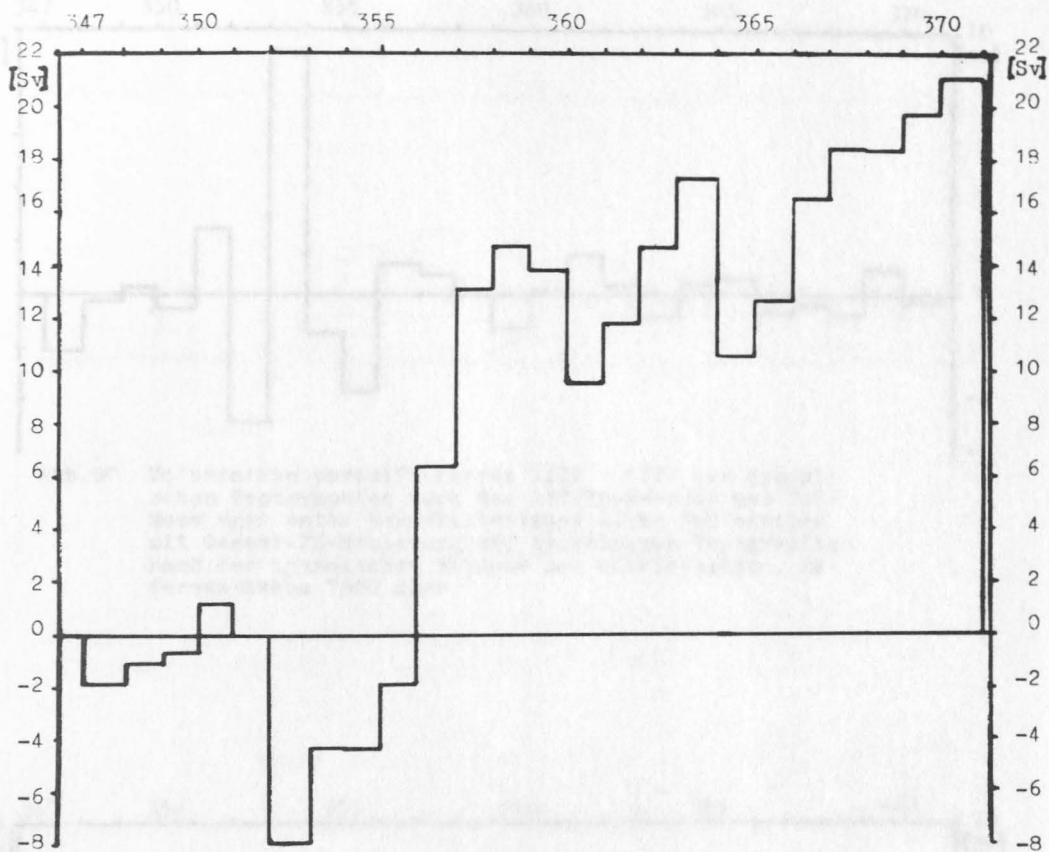


Abb.58 Kummulativer Volumentransport aus dynamischen Topographien nach der XBT/TS-Methode aus XBT-Messungen unter Berücksichtigung aller Fehlerarten mit Gesamt-TS-Beziehung, Referenzniveau 1500 dbar

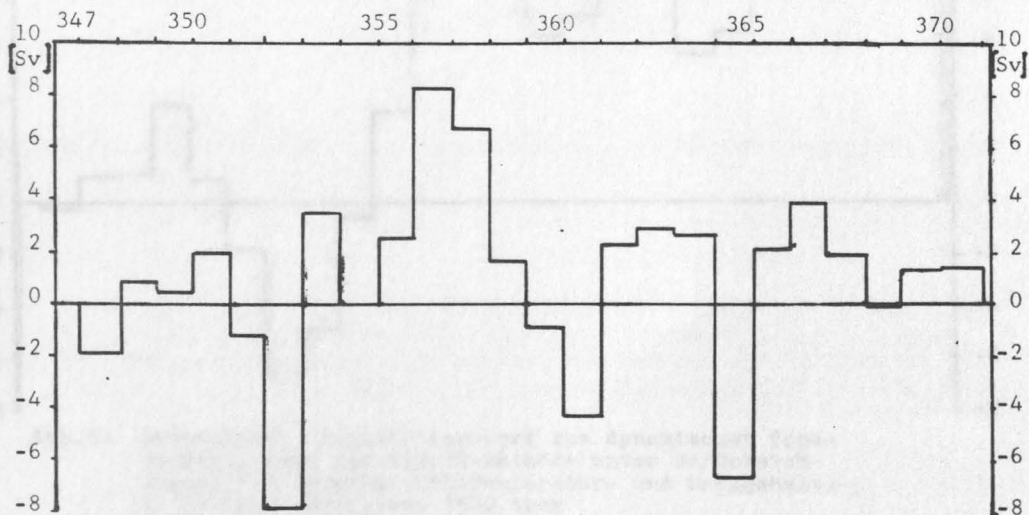


Abb.59 Volumentransporte aus dynamische Topographien nach der XBT/TS-Methode aus XBT-Messungen unter Berücksichtigung aller Fehlerarten mit Gesamt-TS-Beziehung, Referenzniveau 1500 dbar

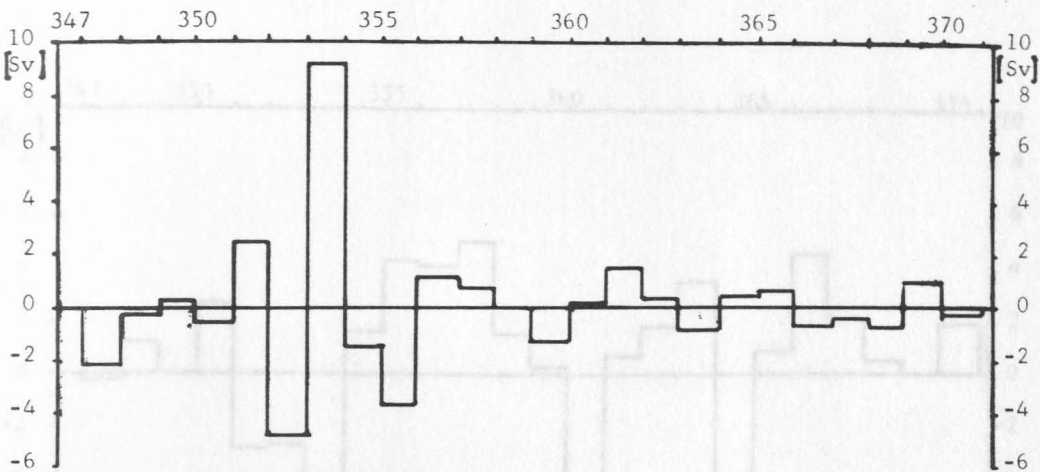


Abb.60 Volumentransportdifferenzen (XBT - CTD) aus dynamischen Topographien nach der XBT/TS-Methode aus XBT-Messungen unter Berücksichtigung aller Fehlerarten mit Gesamt-TS-Beziehung und dynamischen Topographien nach der dynamischen Methode aus CTD-Messungen, Referenzniveau 1500 dbar

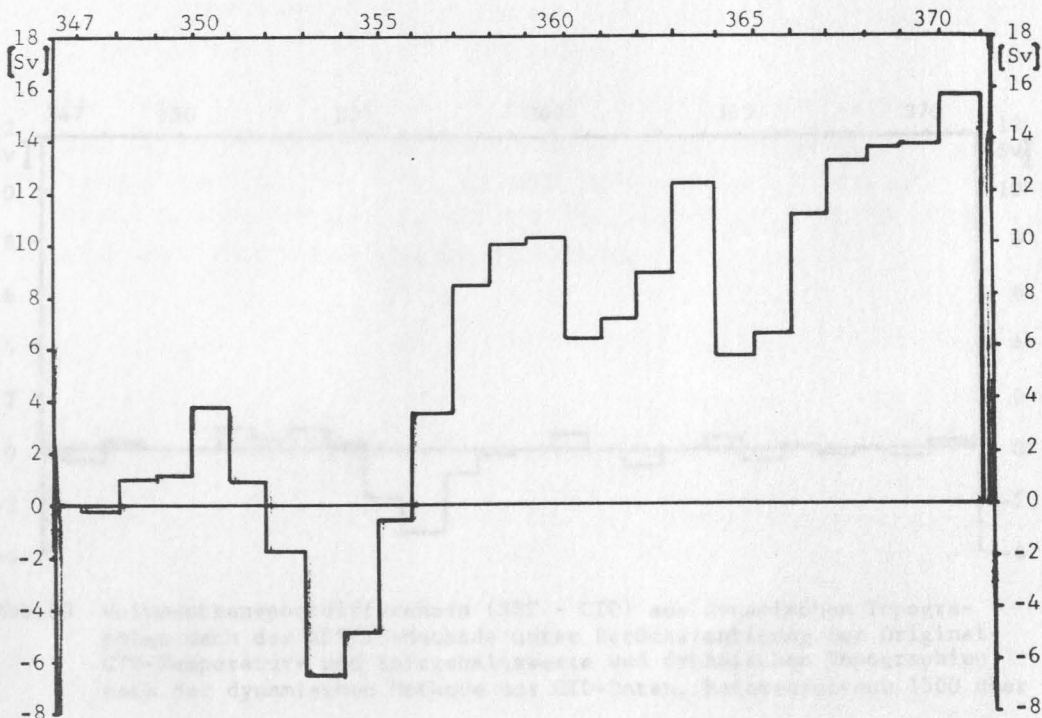


Abb.61 Kummulativer Volumentransport aus dynamischen Topographien nach der XBT/TS-Methode unter Berücksichtigung der Original-CTD-Temperatur- und Salzgehaltswerte, Referenzniveau 1500 dbar

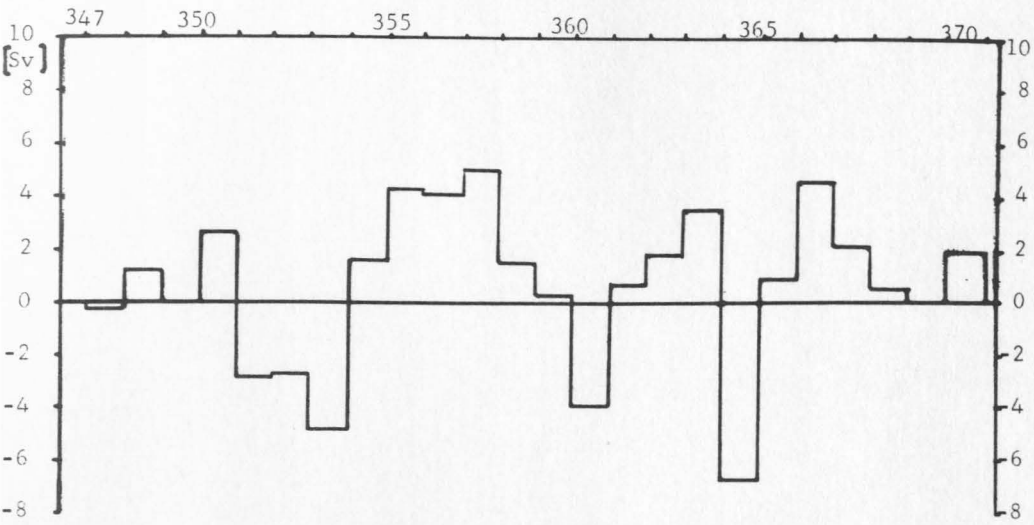


Abb.62 Volumentransport aus dynamischen Topographien nach der XBT/TS-Methode unter Berücksichtigung der Original CTD-Temperatur- und Salzgehaltswerte, Referenzniveau 1500 dbar

Ich danke Herrn Prof. Dr. W. Neundörfer für die unmittelbare Betreuung, die mir während der gesamten Zeit zuteil wurde, sowie Herrn Prof. Dr. J. Waincke.

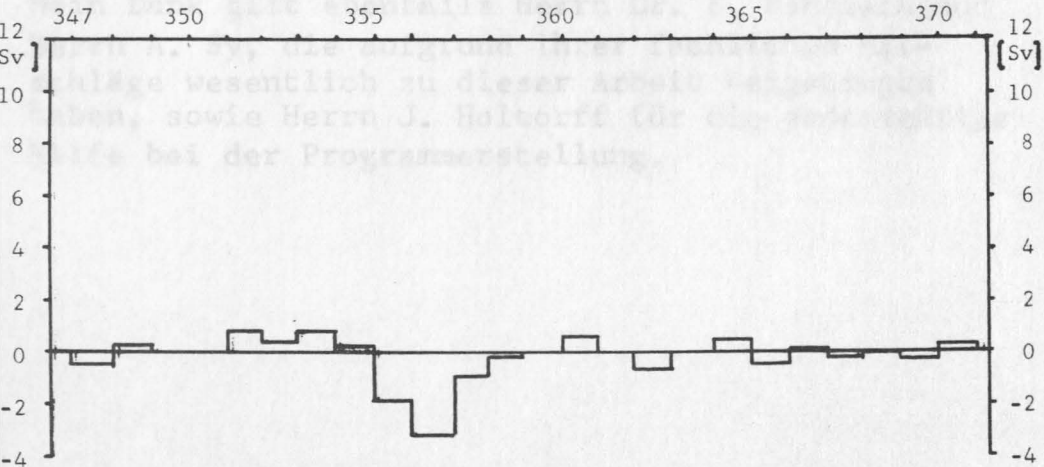


Abb.63 Volumentransportdifferenzen (XBT - CTD) aus dynamischen Topographien nach der XBT/TS-Methode unter Berücksichtigung der Original-CTD-Temperatur- und Salzgehaltswerte und dynamischen Topographien nach der dynamischen Methode aus CTD-Daten, Referenzniveau 1500 dbar

Mein aufrichtigster Dank für die Betreuung dieser Arbeit gilt Herrn Prof. Dr. W. Krauß.

Besonders dankbar für die unmittelbare Betreuung, die mir während der gesamten Zeit zuteil wurde, bin ich Herrn Prof. Dr. J. Meincke.

Mein Dank gilt ebenfalls Herrn Dr. E. Fahrbach und Herrn A. Sy, die aufgrund ihrer fachlichen Ratschläge wesentlich zu dieser Arbeit beigetragen haben, sowie Herrn J. Holtorff für die jederzeitige Hilfe bei der Programmerstellung.



Ich versichere hiermit, daß ich meine Diplomarbeit selbständig verfaßt und keine anderen als die angegebenen Quellen benutzt habe.

Kiel, den 27. August 1985

Klaus Harald Mischke