

# Der Einfluß des KKW „Bruno Leuschner“ auf das Reproduktionsgewässer Greifswalder Bodden in der Frühjahrsheringsaison der Jahre 1984–1986 und 1988–1990

DIPL.-BIOLOGE H. HANTKE, DIPL.-MATHEMATIKER R. OEBERST  
INSTITUT FÜR HOCHSEEFISCHEREI UND FISCHVERARBEITUNG ROSTOCK

*Die seit 1984 vom IfH Bereich Fischereibiologie durchgeführten Untersuchungen zum Einfluß des Kernkraftwerkes auf das Reproduktionsgewässer Greifswalder Bodden ergaben eine deutliche Differenzierung des kühlwasserbeeinflussten Gebietes von den Boddenverhältnissen. Die dafür angewandte Methode der Differenzbetrachtung von Temperatur und Salzgehalt erwies sich als aussagekräftiger gegenüber der Mittelwertbetrachtung.*

*Neben der verringerten Sauerstofflöslichkeit in der Kühlwasserregion beeinflusst das KKW das Untersuchungsgebiet durch kontinuierliches Einleiten des eutrophen Peenewassers.*

*Die Differenzierung des kühlwasserbeeinflussten Gebietes bildet die Grundlage für weitere Untersuchungen zum Einfluß auf Zooplankton und Benthosorganismen.*

Проведённые с 1984 года институтом морского рыболовства и рыбопереработка Росток исследования влияния атомной электростанции на репродукционную акваторию залива Грейфсвальдер Бодден выявила явную разницу между районом находящемся под влиянием охлаждающих вод и общим состоянием воды в заливе. Выбранный для этого метод изучения разницы температуры и солёности оказался более точным чем метод изучения среднего уровня.

Помимо уменьшённой растворимости кислорода в районе охлаждающих вод, АЭС повлияла на изучаемую акваторию постоянным отводом реки Пенэ, перенасыщенной питательным веществом.

Дифференцирование района, находящегося под влиянием охлаждающих вод является основой дальнейшего изучения влияния на зоопланктон и организмов, живущих в слоях морского дна.

Teil: Hydrographie

## 1. Einleitung

Seit 1984 werden durch das IfH im Zeitraum der Frühjahrsheringsaison routinemäßige Untersuchungen innerhalb eines festen Stationsprogrammes vor dem KKW durchgeführt.

Die Abbildungen 1 a und 1 b kennzeichnen die Lage des Untersuchungsgebietes und der Stationen im Greifswalder Bodden. Durch die Halbinsel Struck und das vorgelagerte Flachwassergebiet des Freesendorfer Hakens (s. Abb. 2) erfolgt eine natürliche Trennung der Region der Kühlwasseraufnahme (E) im Peenemündungsgebiet vom Gebiet des Kühlwasserausstromes (A).

Das Peenemündungsgebiet ist geprägt durch einen stark ausgesüßten und wechselnden Wasserkörper. Dieser Wechsel zwischen Peene- und Boddenmilieu ist stark windabhängig.

Das Gebiet des Kühlwasserausstromes entspricht im wesentlichen den Boddenverhältnissen, die vom Kühlwasser beeinflusst werden.

Die hydrographischen Untersuchungen haben das Ziel, die Größe der vom KKW beeinflussten Fläche einzuschätzen, um somit die Auswirkungen auf ausgewählte biotische und abiotische Parameter innerhalb dieser Region feststellen zu können. Neben der thermischen Beeinflussung des Greifswalder Boddens durch den Kühlprozeß im KKW wird kontinuierlich stark

eutrophiertes und ausgesüßtes Kühlwasser in den Bodden abgegeben. Ursache dafür ist die Lage der Kühlwasseraufnahme im Peenemündungsgebiet.

Die hydrographische Situation im Kühlwasseraufnahmegebiet innerhalb der Peenemündung (geringer Salzgehalt) und der thermische Effekt im Kühlprozeß gestatteten es somit, die Parameter Temperatur und Salzgehalt zur Identifizierung der Kühlwasserblase heranzuziehen.

Neben den hydrographischen Daten wurden mittels Minibongo (20 cm Netzöffnung) Zooplankton- und Heringslarvenproben gewonnen, die neben der nahrungsökologischen Problematik auf Indikatorfähigkeit überprüft werden sollen.

## 2. Material und Methode

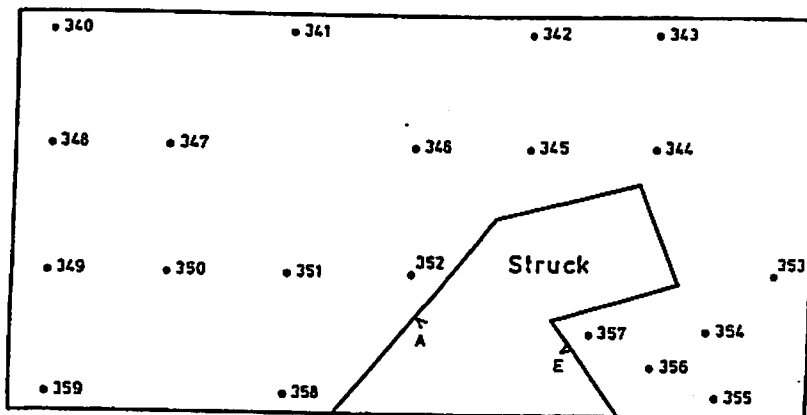
Bis zum Jahr 1989 wurden die Hydrographiewerte über Schöpferproben (0,5 m unter der Oberfläche und 0,5 m über Grund) gewonnen.

Die Sauerstoffbestimmung erfolgte über Titration (nach Winkler) sowie mit dem Feldmeßgerät AM 232.

Der Salzgehalt wurde über Leitfähigkeitsmessungen (LM 302) und 1984 z. T. mit dem Beckmann Salinometer des Wissenschaftsbereiches Fischereibiologie der Universität Rostock ermittelt.

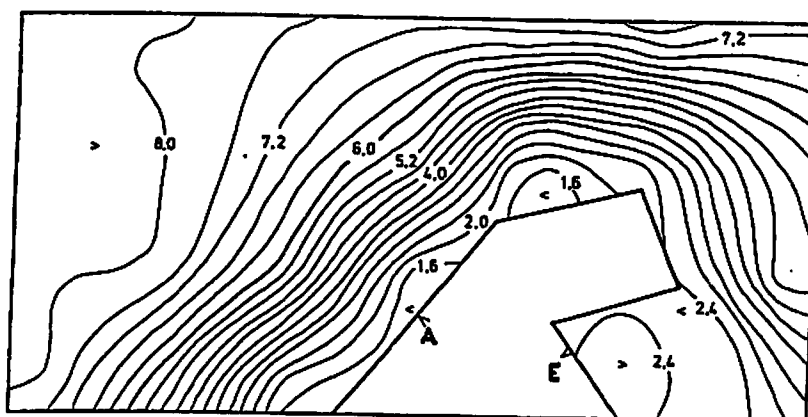


Abb. 1a



Untersuchungsgebiet (USG)

Abb. 1b



Mittlere Lottiefe /m

Abb. 2

Die Temperaturmessung erfolgte im Wassers schöpfer mit einer angegebenen Meßgenauigkeit von 0.1 K.

Die pH-Messung erfolgte mittels pH-Meßgerät TM 6 an Bord. Seit 1989 kam die Meeressonde des IfH zur Bestimmung des Salzgehaltes und der Temperatur zum Einsatz.

Für die Messungen im Flachwasser (<3 m) wurde 1990 eine autonome Kabelsonde vom Typ YSI Modell 33 des IfM Kiel verwendet.

Seit 1984 wurden innerhalb des KKW-Programmes 35 Surveys absolviert, davon 23 mit 20 Stationen und seit 1989 12 Surveys mit 16 Stationen.

Im Peenemündungsgebiet (Kühlwasseraufnahme) liegen 5 Stationen, die restlichen 15 Stationen befinden sich im Gebiet des Kühlwasserausstromes, im südlichen Greifswalder Bodden. (s. Abb. 1 b)

Eine Reduzierung des Stationsnetzes im Peenemündungsgebiet seit 1989 resultiert aus den Ergebnissen der Vorjahre.

Die Werte der Station 353 repräsentieren eindeutig die Situation des Peenemündungsgebietes und somit die Verhältnisse bei der Kühlwasseraufnahme.

Die maximale Entfernung einer Station vom Kühlwasserausstrom beträgt ca. 4 sm. Der Abstand zwischen den Stationen im Ausstromgebiet liegt bei 1 sm.

Ziel des Stationsprogrammes war es, einen entsprechenden Umfang zu gewährleisten, so daß sich in diesem Untersuchungsgebiet eine vom Kühlwasserstrom beeinflusste Region von den Bodenbedingungen heraushebt.

Die Differenzierung des beeinflussten Gebietes sollte an Hand der hydrographischen Bedingungen des Gebietes vollzogen werden.

Zur Analyse des Kühlwassereinflusses wurden auf Grund der physikalischen Eigenschaften des Kühlwassers (geringere Dichte gegenüber dem Boddenmilieu) die Oberflächenwerte des Stationsnetzes für die Differenzbetrachtung genutzt.

#### Differenzmethode

Ziel der Differenzmethode ist die Vergleichbarkeit der jährlichen Untersuchungsergebnisse.

Bei der Betrachtung der Absolutwerte der Surveys ist diese auf Grund der unterschiedlichen Bedingungen in den Jahren nicht gegeben.

Die Differenzmethode beruht auf der Differenzbildung der Parameter einer jeden Station mit den Werten einer definierten Station mit Boddencharakter.

Auf diese Weise ist es möglich, die Höhe der Temperatur- und Salzgehaltssdifferenzen für eine Kennzeichnung des Kühlwassereinflusses innerhalb der Boddenverhältnisse zu nutzen.

Der Vorteil gegenüber einer Mittelwertsbetrachtung besteht in der Möglichkeit einer zusammenfassenden Beurteilung verschiedener Untersuchungen.

Auf Grund der im Frühjahr systematisch steigenden Wassertemperaturen verfälscht eine Mittelwertsbetrachtung der Absolutwerte aller Untersuchungsjahre infolge der Variabilität die wahren Ausmaße des Kühlwassereinflusses auf das Untersuchungsgebiet und liefert somit keine optimale Aussage.

Ebenso kann es durch verschiedene Meßmethoden in den Jahren und unterschiedlichen Kühlwasserausstoß bei Mittelwertsbetrachtung der Absolutwerte zu Fehlinterpretationen kommen.

#### Varianz- und Regressionsanalyse nach Merkmalsprinzipien

Die 1989 mit der Meeressonde durchgeführten speziellen Hydrographieschnitte ermöglichten die Festlegung bestimmter

Grenzen des Kühlwasserkörpers.

So wurde ein Wasserkörper mit + 1 K Temperaturdifferenz über und 0.5 ‰ Salzgehalt unter einem definierten Boddenwert als kühlwasser-beeinflußt angenommen.

An Hand der Differenzwerte von Temperatur und Salzgehalt erfolgte nun die Einstufung der Stationen des Untersuchungsgebietes in die Merkmale:

(1) – kühlwasserbeeinflusste Station,

(2) – Boddenstationen,

(3) – peenewasserbeeinflusste Station.

Ziel der Untersuchung ist es, mittels Varianz- und Regressionsanalyse der Werte der oben genannten drei Merkmale, signifikante Unterschiede zwischen den Wasserkörpern herauszufinden und die Abhängigkeiten der Hydrographiedaten innerhalb eines jeden Merkmals zu ermitteln.

Diese Methode berücksichtigt auf Grund des Auswahlprinzips nach Merkmalen den wichtigen Windeinfluß auf den Wasserkörper und eignet sich gut zur saisonalen Einschätzung des Kühlwassereinflusses.

#### Varianz- und Regressionsanalyse nach Zoneneinteilung

Um jedoch eine Langzeitwirkung des Kühlwasserkörpers auf eine bestimmte Region zu untersuchen, erfolgte eine Einteilung des Untersuchungsgebietes in vier Zonen.

In Radien von jeweils einer Seemeile zum Ausstromkanal wurden alle Werte der entsprechenden Zone zusammengefaßt und nach diesem Abstandskriterium durch Varianz- und Regressionsrechnung miteinander verglichen.

### 3. Ergebnisse

#### 3.1. Kühlwasserbeeinflusstes Gebiet

Nach Bestimmung der Temperatur- u. Salzgehaltssdifferenzen einer jeden Station des Untersuchungsgebietes vom jeweiligen Boddenwert lassen sich die Grenzen der kühlwasserbeeinflussten Fläche nach den oben genannten Kriterien (-1 K; + 0.5 ‰) ermitteln.

Die starke Variabilität der Differenzverteilung infolge des Windeinflusses beruht auf der Oberflächenschichtung des Kühlwasserkörpers.

In den Abbildungen 3 u. 4 ist die kühlwasserbeeinflusste Region durch die Temperatur- u. Salzgehaltssdifferenzen an zwei Beispielen gut zu erkennen.

Westliche Winde um 3-5 Windstärken (in Bft.) am 05. 05. 1988 verschieben die Kühlwasserblase in östliche Richtung. Östliche Winde um 4-6 (in Bft.) vom 26. 05. 1988 und entsprechende Strömungsverhältnisse sorgen für ein Verdriften des Kühlwassers in Richtung NW.

Auf Grund der verschiedenen Windlagen unterscheiden sich die Kühlwasserblasen beider Tage, wobei der Kühlwassereinfluß bei einem ca. 2 Seemeilen Radius vom Kühlwasserausstromkanal in beiden Fällen noch vorhanden ist.

Die Größenausdehnung der Kühlwasserblase kann neben den Wind- und Strömungsverhältnissen auch auf einen verschieden großen Kühlwasserausstoß zurückzuführen sein.

Ein Anzeiger dafür wären die unterschiedlichen Differenzwerte der dem Ausstromkanal nahegelegenen Station 351 innerhalb der Surveys.

Weiterhin wird deutlich, daß die Temperatur gegenüber dem Salzgehalt einen größeren erkennbaren Einfluß aufweist, da der Salzgehalt sich über Vermischungsprozesse relativ schnell an das Boddenwassermilieu angleicht.

Mit der Abbildung 5 vom 10. 05. 1990 des Untersuchungsgebietes wird die Situation des fehlenden Kühlwasserausstromes

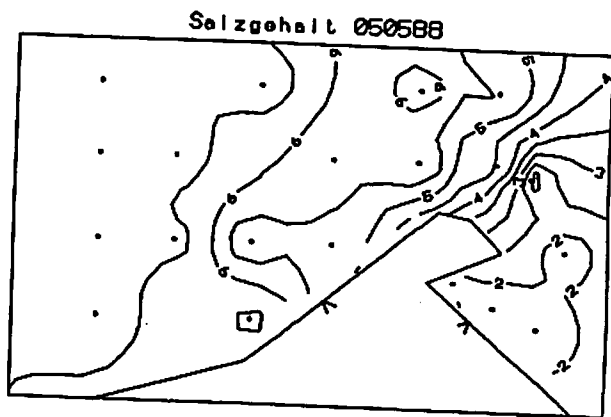
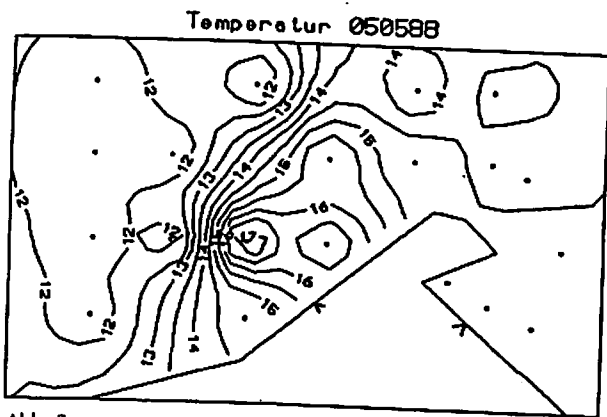
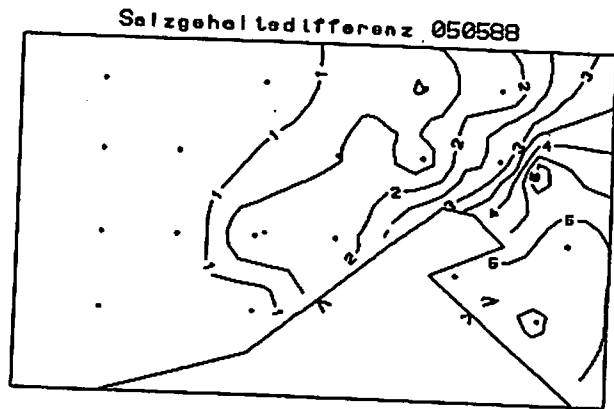
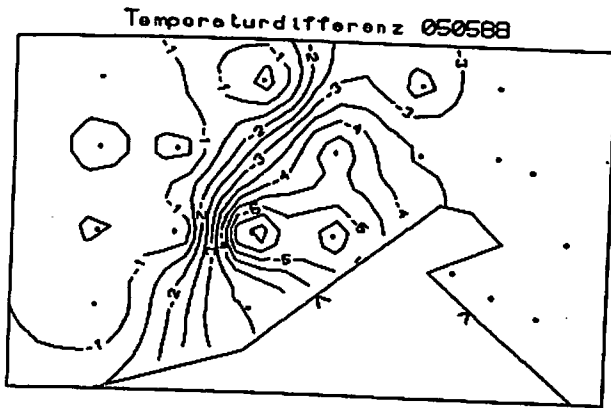


Abb. 3

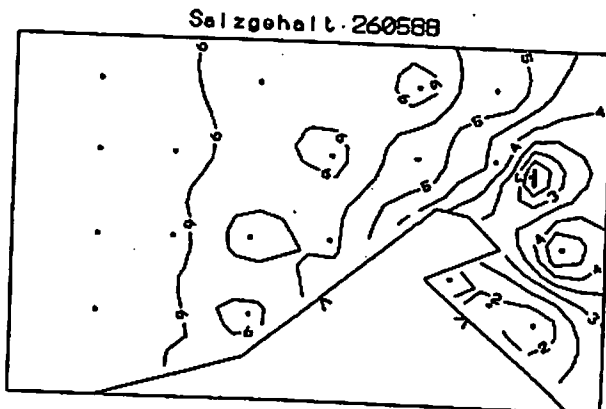
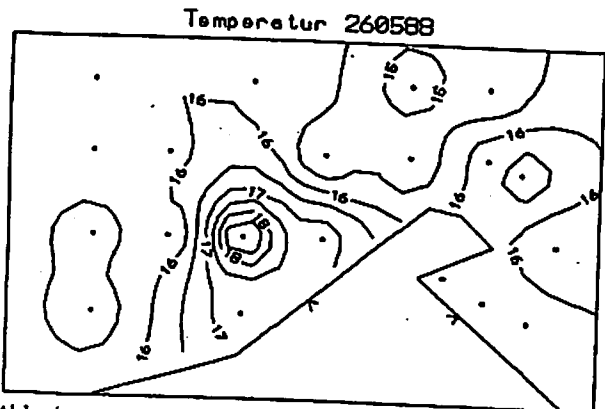
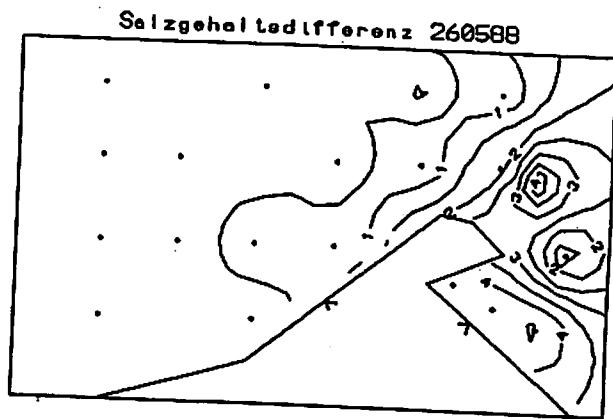
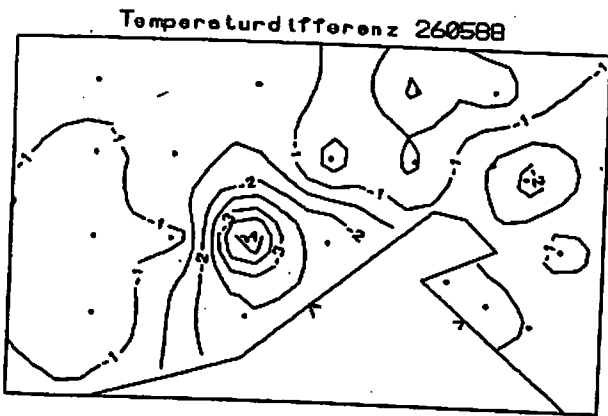


Abb. 4

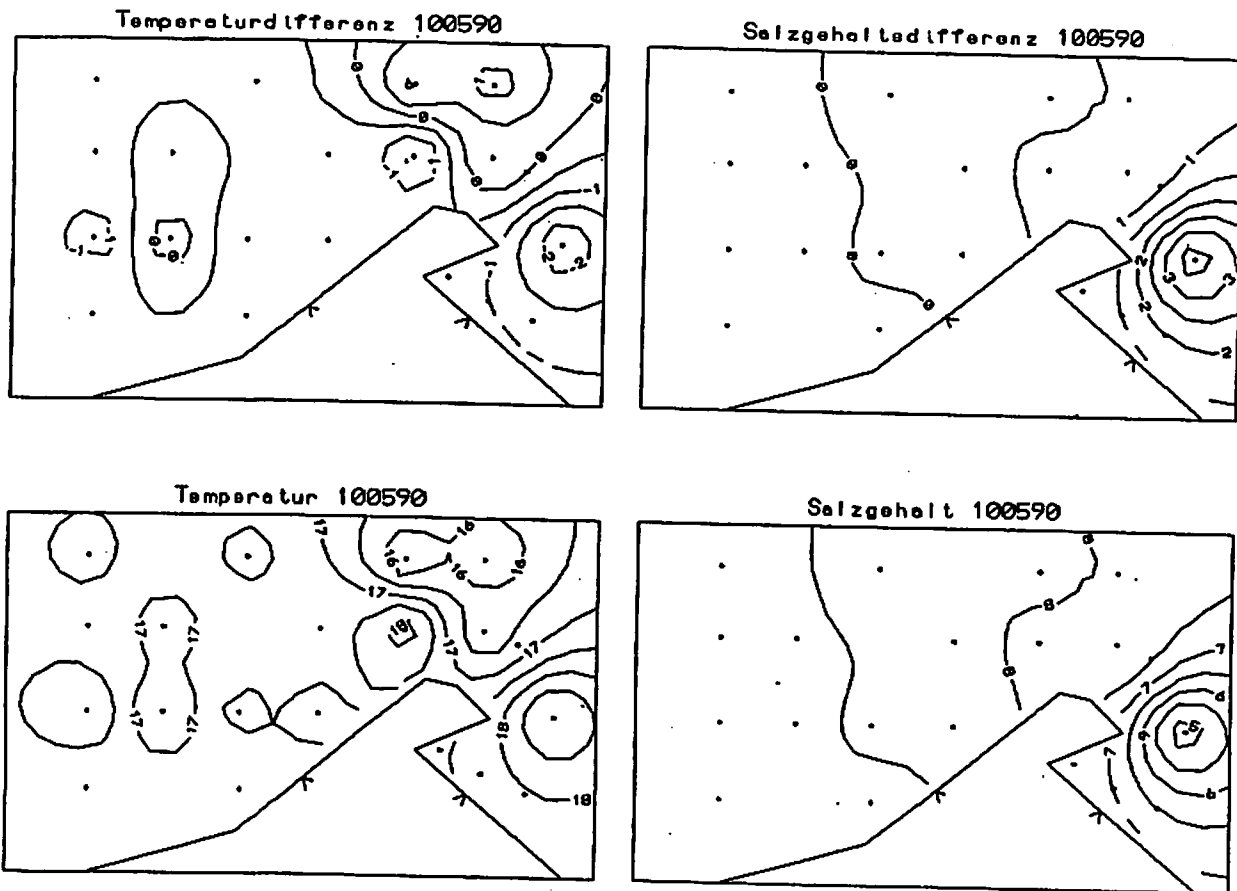


Abb. 5

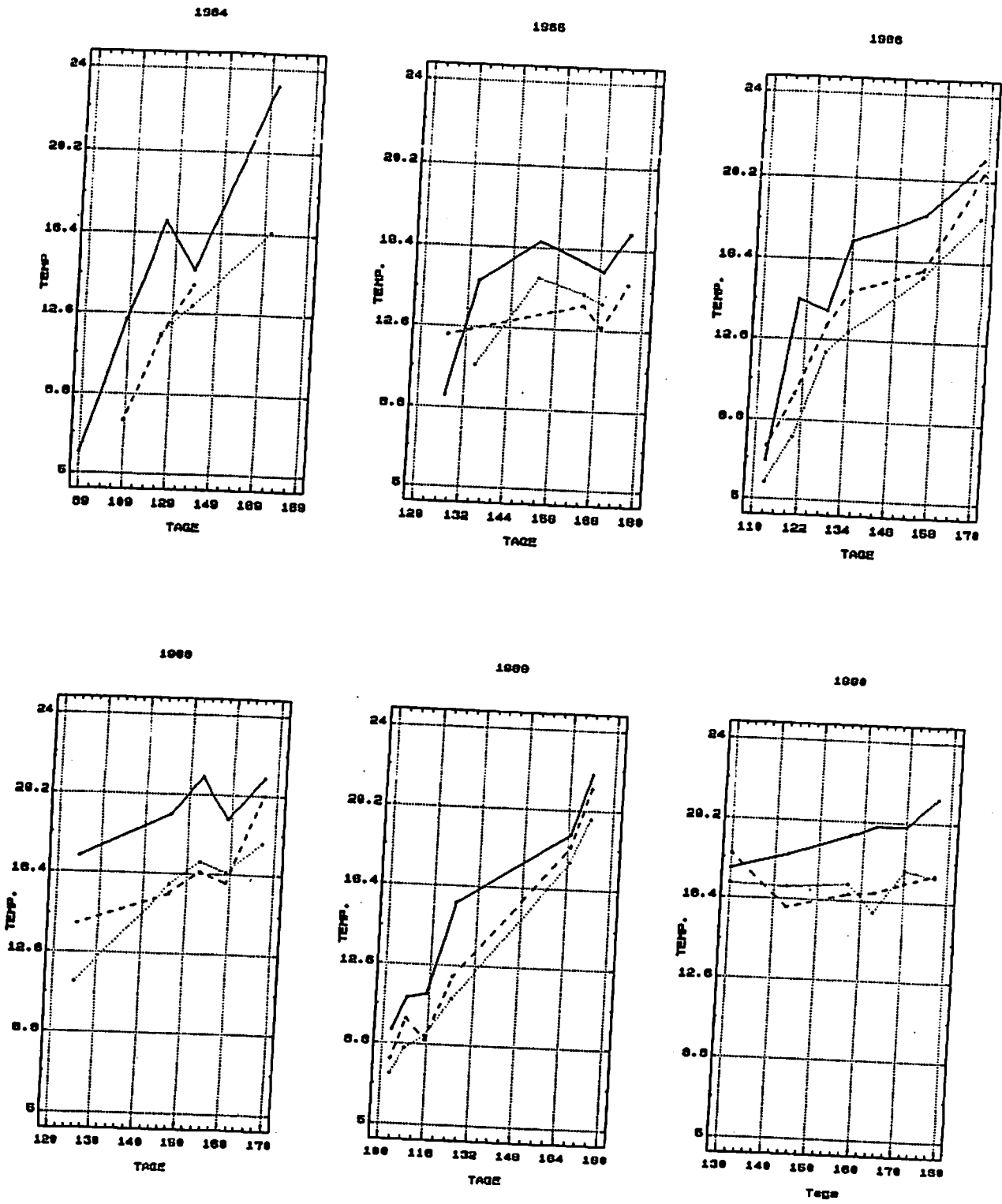
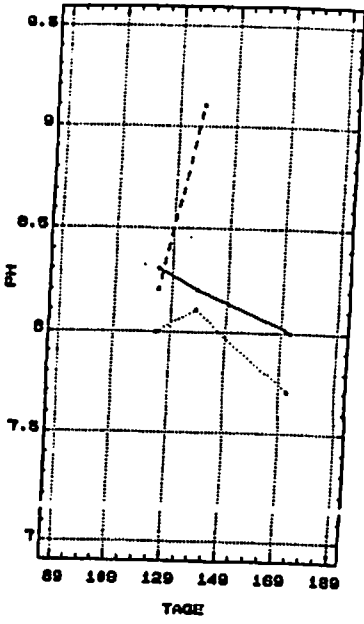
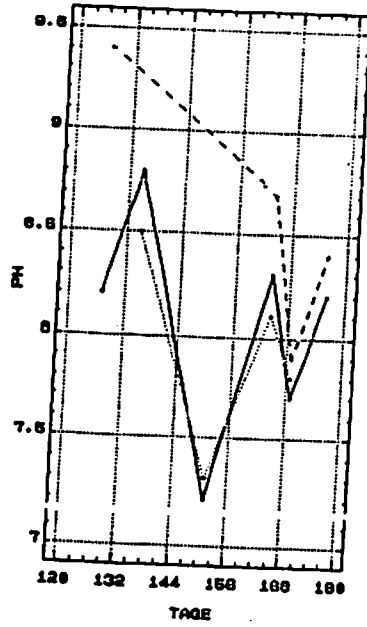


Abb. 6

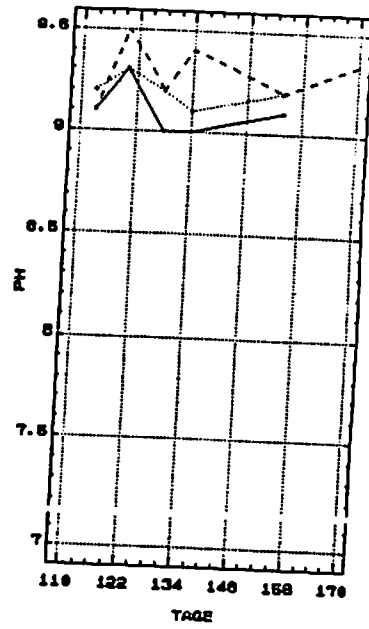
1984



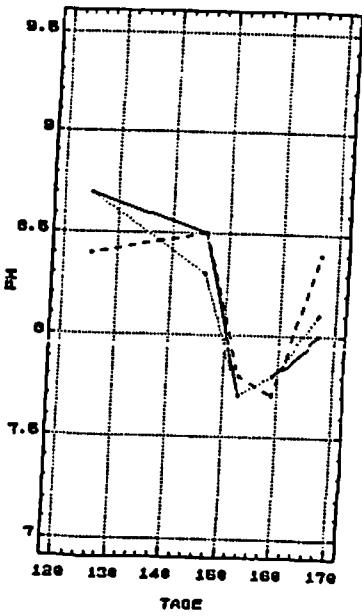
1985



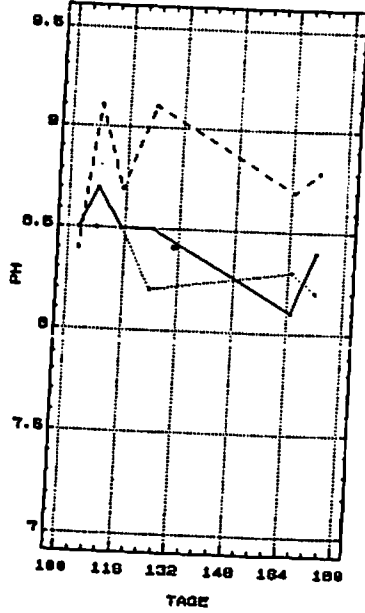
1986



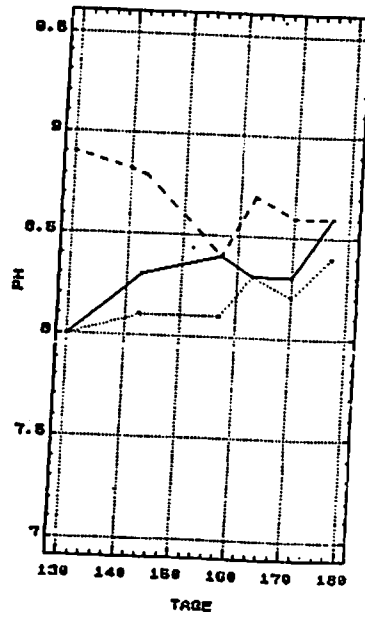
1989



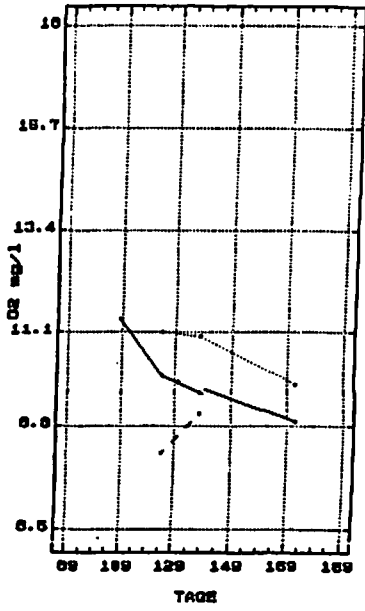
1990



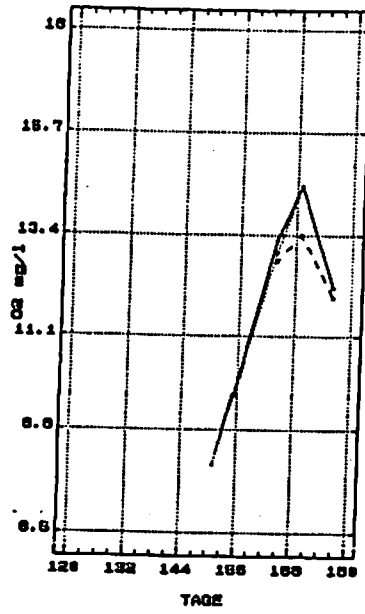
1991



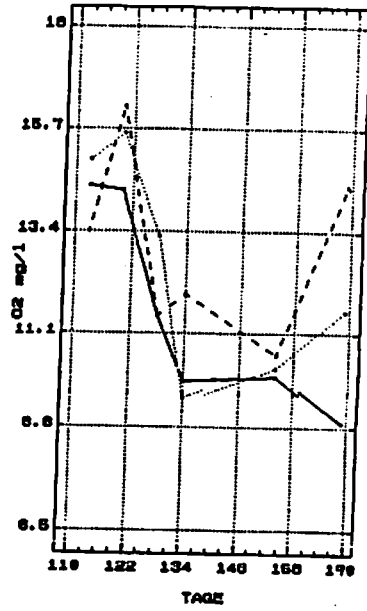
1984



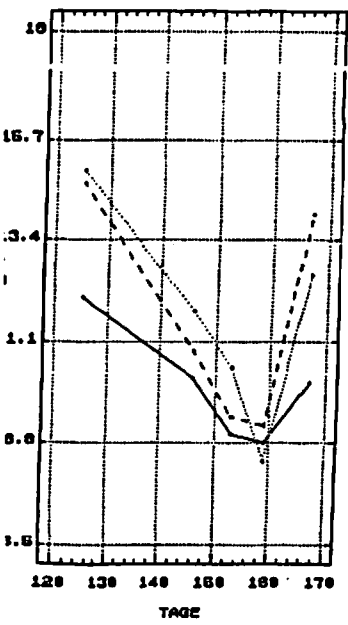
1986



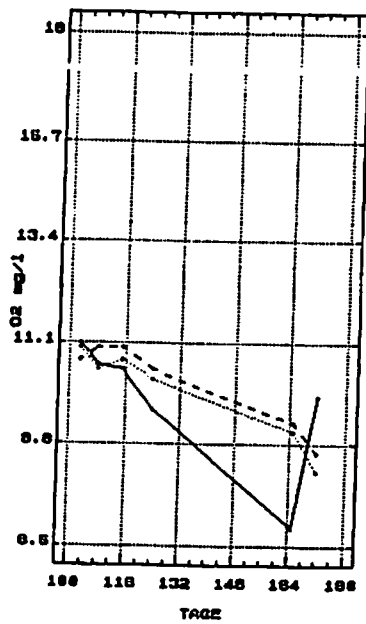
1988



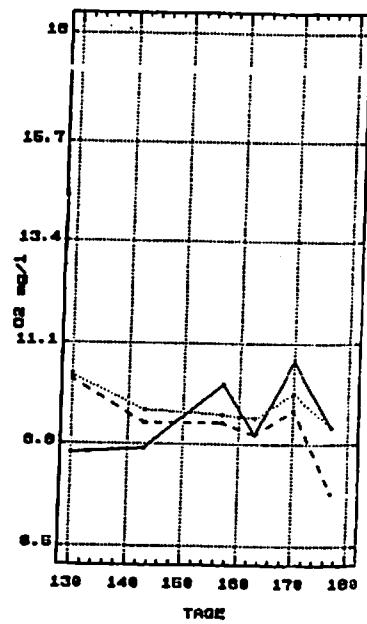
1989



1989



1989



b. 9



dargestellt. Weder bei den Temperatur- noch bei den Salzgehaltswerten ist ein KKW-Einfluß auf das Untersuchungsgebiet erkennbar.

In den Abb. 6-9 werden an Hand der merkmaltypischen Stationen 351 o. 352 (— Linie Kühlwasser); 340 (.... Linie Bodden) und 353 (---- Linie Peeneinfluß) die Parameter der drei Stationen in den Untersuchungsjahren gegenübergestellt.

#### Temperatur (Abb. 6)

In allen Jahren liegen die Temperaturwerte der Station 351 über den Werten der Bodden- und Peenestation, die sich ebenso gut voneinander unterscheiden lassen.

Die Abweichung der Temperaturwerte der Kühlwasserstation des Jahres 1990 von den Stationen 353 und 340 trotz fehlenden KKW-Einflusses ist auf die Lage der Station 352 im Flachwasser (< 2 m) und der schnelleren Erwärmung dieser Region zurückzuführen.

#### Salzgehalt (Abb. 7)

Beim Salzgehalt ist durch die Mittelstellung der Werte der kühlwasserbeeinflussten Station der Kühlwassereinfluß deutlich sichtbar.

Die Schwankungen zwischen Peene- und Boddenmilieu auf Station 353 spiegeln sich in den Schwankungen der kühlwasserbeeinflussten Station 351 o. 352 wider, aber auch auf der Boddenstation zeugen geringe Salzgehaltsänderungen vom Peeneinfluß auf den Bodden.

#### pH (Abb. 8)

Typisch für die Station 353 sind die hohen pH-Werte dieser Region. Diese haben ihre Ursache im stark eutrophierten Peenewasser und einer möglicherweise dadurch induzierten hohen Primärproduktion, die ihren Ausdruck in den Sauerstoffwerten finden müßte.

#### Sauerstoffgehalt (Abb. 9)

Die oben erwähnte Kopplung des Sauerstoffwertes mit dem pH über die Primärproduktion ist bei Betrachtung der entsprechenden Zeiteinheiten relativ gut in den korrespondierenden Schwankungen der beiden Größen sichtbar.

Trotz erhöhter pH-Werte auf der Station 353 liegt der Sauerstoffgehalt nicht wesentlich über dem der Boddenwerte.

Da die Größe Sauerstoff eine temperaturabhängige Komponente des Systems darstellt, ist ein direkter kausaler Zusammenhang zwischen pH und Sauerstoffgröße nicht gegeben.

Auffällig ist der geringere Sauerstoffgehalt der kühlwasserbeeinflussten Stationen, der sicherlich infolge der höheren Temperaturwerte auf die verringerte Löslichkeit zurückzuführen ist.

### 3.2. Varianz- und Regressionsanalyse nach Merkmalsprinzipien

Um die Parameter der drei verschiedenen Wasserkörper miteinander zu vergleichen, wurden Konfidenzintervalle und Korrelationskoeffizienten für Absolut- u. Differenzwerte ermittelt. In Tabelle 1 sind die sich signifikant unterscheidenden Parameter der Regionen in den Gesamtjahren zusammengefaßt und dargestellt.

Aus den Varianzanalysen ergeben sich in der Zusammenfassung

Tabelle 1

Darstellung der signifikanten Unterschiede der Parameter nach Merkmalen mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit  $\alpha = 0.05$  für alle Jahre

Parameter	Absolutwert homogene Gruppe	Differenzwert homogene Gruppe
O <sub>2</sub> mg/l	1 .	.
	2 . .	.
	3 .	.
O <sub>2</sub> %	1 .	.
	2 . .	.
	3 .	.
pH	1 .	.
	2 . .	.
	3 .	.

aller Jahre für die Absolutwerte der Parameter Sauerstoffgehalt und pH signifikante Unterschiede, bei einem 95%igen Konfidenzintervall ( $\alpha = 0.05$ ) zwischen den drei Regionen.

Dabei nimmt die kühlwasserbeeinflusste Region eine Mittelstellung zwischen den höheren pH- und Sauerstoffwerten der Peeneregion und den geringeren Werten des Boddens ein.

Die Betrachtung der Differenzwerte aller Jahre erbrachte nur einen signifikanten Unterschied ( $\alpha = 0.05$ ) für die Größe pH.

Die Parameter Salzgehalt und Temperatur wurden in die Signifikanzbetrachtungen nicht mit einbezogen, da sie Auswahlgrößen für die Merkmalskriterien sind.

Um den Einfluß der Faktoren Salzgehalt und Temperatur auf die Größen Sauerstoff, pH und Sichttiefe innerhalb der drei Merkmalskriterien zu betrachten, wurden die Regressionen mit entsprechenden Korrelationskoeffizienten für alle Jahre ermittelt.

In der Tabelle 2 sind die entsprechenden Korrelationswerte dargestellt. Die Abbildungen 10 u. 11 zeigen die Regressionsgeraden der verschiedenen Merkmalsregionen.

Tabelle 2

Darstellung der Funktionswerte der Funktion  $y = a + bx$  für verschiedene Parameter innerhalb der Merkmalsregionen ( $r =$  Korrelationskoeff.) aller Jahre ( $\alpha = 0.05$ )

Merkmalsregion	Parameter	r
kühlwasserbeeinfl. Region	O <sub>2</sub> /Temp	-0.657
	O <sub>2</sub> /pH	0.575
	pH/Temp	-0.453
	Secchi/Salz	0.394
	Salz/Temp-diff.	-0.528
peeneeinfl. Region	Secchi/Salz	0.747
	Secchi/pH	-0.407
	Salz/pH	-0.566
	O <sub>2</sub> /Salz	-0.670
	Salz/Temp-diff.	-0.428
	O <sub>2</sub> /Temp	-0.320
	O <sub>2</sub> /pH	0.228
Bodden	O <sub>2</sub> /Temp	-0.477
	pH/Temp	-0.382
	pH/O <sub>2</sub>	0.348
	Secchi/Salz	0.407
	Salz/Temp-diff.	-0.034

#### Kühlwasserbeeinflusstes Gebiet

Die deutlichste Abhängigkeit zwischen den Größen Sauerstoff und Temperatur tritt im kühlwasserbeeinflussten Gebiet auf. Das bedeutet, daß der Temperaturfaktor sich in dieser Region stärker auf den Sauerstoffgehalt auswirkt, was zu erwarten war. Ebenso scheint eine Beziehung zwischen der Temperatur und dem pH in dieser Region eine Rolle zu spielen, da hohe Temperaturen mit einem verringerten pH-Wert einhergehen.

Dies wiederum lässt auf eine verringerte Primärproduktion schließen. Wie der Vergleich mit den Boddenverhältnissen aber zeigen wird, ist dies keine typische Situation des KKW-Einflusses.

Deutliche Korrelationen treten auch bei den Größen pH und Sauerstoffgehalt auf, was auf die Kopplung über die Primärproduktion schließen lässt.

Eine Abhängigkeit zwischen Temperatur und Salzgehalt wurde nur bei den Differenzwerten der beiden Größen festgestellt, was wiederum auf den Einfluß des KKW hinweisen könnte, da eine Temperaturerhöhung gegenüber dem Boddenwert mit einer Salzgehaltsemiedrigung einhergeht.

#### Bodden

Bis auf die Abhängigkeiten der Größen Temperatur, Sauerstoff und pH, die über die Primärproduktion auf natürliche Weise verbunden sind, konnten keine weiteren Beziehungen zwischen den Parametern dieses Wasserkörpers ermittelt werden. Da dieser Wasserkörper die natürlichen Boddenverhältnisse repräsentiert, bestätigt er die im KKW-Einflussbereich ermittelten Temperaturabhängigkeiten zu pH und Sauerstoffgehalt als einen natürlichen Prozeß, wobei die Größe des Korrelationskoeffizienten im oben genannten Gebiet gegenüber dem Boddenwert auf eine engere Beziehung deutet.

#### Peenebeeinflusste Region

Die deutlichsten Korrelationen treten in dieser Region zwischen pH, Salzgehalt, Sauerstoffgehalt und Sichtigkeit auf. Hierbei wird der Wechsel zwischen Bodden- und Peenemilieu gut sichtbar. Die relativ hohen Korrelationswerte zwischen Sichtigkeit und Salzgehalt, Salzgehalt und pH, Sauerstoffgehalt und Salzgehalt verweisen auf den engen Zusammenhang zwischen eutrophem Peenewasser und der dadurch erhöhten Primärproduktion mit ihren Folgeerscheinungen des hohen pH, geringer Sichtigkeit und erhöhten Sauerstoffwerten.

Eine Verringerung des Salzgehaltes infolge Boddenwassereintrich erzeugt umgekehrte Verhältnisse auf Grund der geringeren Belastung des Boddenwassers.

#### 3.3. Varianz- und Regressionsanalyse nach Zonierung des Untersuchungsgebietes

Um die Langzeitwirkung des KKW-Einflusses auf das Untersuchungsgebiet festzustellen, ist eine Zonierung des Gebietes unabhängig von Wind- und Strömungsverhältnissen eine geeignete Variante, um mit Hilfe der Varianzanalyse Temperatur- und Salzgehaltswerte zur Kennzeichnung der Einflußregion zu nutzen.

Wie schon unter Pkt. 2 erwähnt, ist es sinnvoll, hierbei die Differenzwerte der beiden Parameter zu betrachten.

Bei der Gegenüberstellung der Beziehung zwischen Salzgehalts- und Temperaturänderung zu einem definierten Boddenwert zeigt der Vergleich der Einzeljahre in Abbildung 12 eine Ähnlichkeit der Funktionen der Jahre 1985, 1986, 1988, 1989 (s. auch Tab. 3) und somit einen gleichbleibenden Einfluß des KKW.

Der geringe Korrelationswert sowie die Regressionsgerade des Jahres 1990 unterstreichen den fehlenden KKW-Einfluß.

Die Abweichung der Funktion von Salzgehalts- und Temperaturdifferenzen des Jahres 1984 von den Vorjahren muß auf Meßfehlern des Anfangsjahres beruhen.

Eine Gegenüberstellung der Regressionsgeraden in Abbildung 13.3 und 13.4 sowie die Korrelationskoeffizienten aus Tabelle 3 verdeutlichen den Unterschied in den Jahren.

**Tabelle 3**

Darstellung der Funktionswerte der Funktion  $y = a + bx$  für die Temperatur- und Salzgehaltsdifferenzen der Einzeljahre und des Gesamtzeitraumes ( $n$  = Probenanzahl;  $r$  = Korrelationskoeff.) mit  $\alpha = 0.05$

Jahr	r	a	b	n
1984	-0.500			60
1985	-0.799	.0785	-0.356	69
1986	-0.764	.1787	-0.289	64
1988	-0.870	.0310	-0.226	65
1989	-0.731	.0672	-0.356	58
1990	-0.354			83
GESAMT	-0.634	.0818	-0.216	401

Nach Vergleich der beschriebenen Differenzbeziehungen durch Regressionsrechnung wurden die Differenzen von Temperatur und Salzgehalt aller Jahre sowie der Differenzwerte der Jahre 1985–1989 in den vier Abstandszonen vom Ausstromkanal durch Varianzanalyse miteinander verglichen.

In den Abbildungen 13.1 und 13.2 sind die Temperatur- und Salzgehaltsdifferenzen aller Jahre in Form von Konfidenzintervallen in Beziehung zum Abstand vom Ausstromkanal gesetzt. Auf diese Weise soll ein Langzeiteffekt des Kühlwassereinflusses auf die Zonen ermittelt werden.

An Hand der oben genannten Abbildungen ist mittels des 95%igen Konfidenzintervalls ( $\alpha = 0.05$ ) eine Unterscheidung der Abstandszonen zum Ausstromkanal möglich.

Die Temperaturdifferenzen unterscheiden sich in den Zonen 1 und 2 signifikant. Kein signifikanter Unterschied ist zwischen den Zonen 3 und 4, jedoch zwischen 3, 4 und 1 und 2. (s. Tab. 4) Aus der Darstellung ist der Kühlwassereinflussbereich durch den Temperaturfaktor gut auf 2 Seemeilen vom Ausstromkanal in seiner Langzeitwirkung zu begrenzen.

Wie schon unter Pkt. 3.1. erwähnt ist der Salzfaktor ein weniger deutlicher Indikator für die Bestimmung des Kühlwassereinflusses, da er sich über Vermischungsprozesse relativ schnell dem Umgebungsmilieu angleicht.

Des Weiteren spielen die Salzgehaltsverhältnisse im Kühlwasseraufnahmegebiet eine entscheidende Rolle für die Differenz zum Boddenwert.

Die in der Abb. 13.2. dargestellten Konfidenzintervalle der Salzgehaltsdifferenz aller Jahre machen den oben genannten Fakt deutlich. Danach ist der Kühlwassereinfluß mit einer Seemeile auf die Zone 1 begrenzt.

Die Gegenüberstellung der Konfidenzintervalle der Werte aller Jahre und der Werte der Jahre 1985–1989 brachte keine andere Aussage für den KKW-Einflußbereich.

Allerdings verdeutlicht der Korrelationsfaktor bei der Zusammenfassung der vier Jahre gegenüber allen Jahren für die Beziehung Salzgehalts- und Temperaturdifferenz, mit  $r = -0.634$  und  $r = -0.762$ , die Ähnlichkeit des KKW-Einflusses der 4 Jahre. Um Unterschiede zwischen den Parametern in den Zonen auf ihren Langzeiteffekt zu untersuchen, wurden die Werte mittels Varianzanalyse miteinander verglichen.

Die in Tabelle 4 dargestellten Parameter unterscheiden sich in den Zonen mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von  $\alpha = 0.05$  signifikant voneinander.

Das betrifft insbesondere die Temperatur-, Sauerstoff- und Salzgehaltsdifferenzen. Die Unterscheidung der Zonen an Hand der Temperatur- und Salzgehaltsdifferenzen durch Konfidenzintervalle wurde bereits beschrieben.

**Tabelle 4**

Darstellung der signifikanten Unterschiede der Parameter zwischen den Zonen mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit  $\alpha = 0.05$  für alle Jahre

Parameter	Absolutwert		Differenzwert	
	homogene Gruppe		homogene Gruppe	
Temperatur	1	.	.	.
	2	.	.	.
	3	.	.	.
	4	.	.	.
Salzgehalt	1	.	.	.
	2	.	.	.
	3	.	.	.
	4	.	.	.
O <sub>2</sub> -Gehalt	1	.	.	.
	2	.	.	.
	3	.	.	.
	4	.	.	.
pH und O <sub>2</sub> -Sättigung	1	.	.	.
	2	.	.	.
	3	.	.	.
	4	.	.	.

Eine Differenzierung der Zonen an Hand der Sauerstoffdifferenzen ist in Tabelle 4 ersichtlich. Dabei finden wir die geringsten Differenzen in Zone 1, die höchsten Differenzen in Zone 4.

Die Zone 2 bildet die Übergangsregion zwischen den sich signifikant unterscheidenden Zonen 1 und 3,4.

Die geringeren Sauerstoffwerte in Zone 1 und 2 könnten auf die geringere Sauerstofflöslichkeit der kühlwasserbeeinflussten Region zurückzuführen sein.

Bei der Betrachtung der Signifikanzunterschiede der Absolutwerte in Tabelle 4 wird der Einfluß der Variabilität der Werte des Gesamtzeitraumes deutlich. Demnach ist eine Unterscheidung der Zonen kaum möglich.

Zonale Unterschiede zwischen den Differenzen und Absolutwerten der Parameter Sauerstoffsättigung und pH sind in der Langzeitwirkung nicht zu verzeichnen.

In der Tabelle 5 sind die Größen der Regressionsrechnungen zwischen den Temperatur- und Salzgehaltsdifferenzen der einzelnen Zonen in allen Jahren und in Abbildung 14 deren Funktionsgeraden dargestellt.

**Tabelle 5**

Darstellung der Funktionswerte der Funktion  $y = a + bx$  für die Temp.- und Salzgehaltsdifferenzen der Zonen im Gesamtzeitraum ( $r =$  Korrelationskoeff.) mit  $\alpha = 0.05$

Zone	r	a	b
1	-0.637	0.121	-0.202
2	-0.688	0.075	-0.200
3	-0.328	0.064	-0.328
4	0.014		
Gesamtgebiet	-0.634	0.082	-0.216

Demnach ist der Zusammenhang zwischen der Temperatur- und Salzgehaltsänderung in den Zonen bei den Konfidenzintervallen, wie auch bei den Korrelationswerten in der Langzeitwirkung ersichtlich.

Die grafische Darstellung verdeutlicht die Unterschiede der Abhängigkeit in den Zonen. In der Zone 4 ist ein Dauereffekt des Kühlwassereinflusses nicht mehr zu beobachten.

Aus den Regressionsrechnungen der Temperatur- und Salzgehaltsdifferenzen der einzelnen Zonen ergeben sich die Beziehungen zwischen Salzgehalts- und Temperaturänderungen für jede Zone. Diese sind in der Tabelle 6 dargestellt.

**Tabelle 6**

Darstellung der Abhängigkeit von Salzgehalts- und Temperaturänderung in den Zonen mit  $\alpha = 0.05$

Zone	Temperaturänderung in (C)	Salzgehaltsänderung in (‰)
1	5	-1.13
	4	-0.93
	3	-0.73
	2	-0.53
	1	-0.33
2	4	-0.88
	3	-0.68
	2	-0.48
	1	-0.28
	0.5	-0.18
3	3	-1.05
	2	-0.72
	1	-0.39
	0.5	-0.23

Danach verändert sich der Salzgehaltswert in Zone 1 und 2 bei einer Temperaturänderung von +1 K gleichermaßen um  $-0.2 \text{ ‰}$ .

Die Salzgehaltsänderung in Zone 3 beträgt bei einer Temperaturänderung von +1 K ca.  $-0.3 \text{ ‰}$ .

#### 4. Diskussion

Die 1989 durchgeführten vertikalen und horizontalen SONDENSCHNITTE mit der Meeressonde des IFH zur Ermittlung der Ausdehnung der Kühlwasserblase ermöglichten eine Analyse der Struktur der Kühlwasserblase.

Demnach macht sich entsprechend der Windrichtung ein Kühlwassereinfluß noch bis zu einer Entfernung von 4 Seemeilen vom Ausstromkanal des KKW bemerkbar.

Der anfänglich hohe Temperatur- und Salzgehaltsgradient bildet noch bis zu einer Seemeile vom Ausstromkanal einen scharf abgegrenzten Oberflächenstrom des Kühlwassers in einer Wassertiefe von 1.0 m aus. Über Ausgleichs- und Vermischungsprozesse nimmt die noch ermittelbare Mächtigkeit bis in 3 m Wassertiefe unter Verringerung der Gradienten zu.

Auf Grund dieser Untersuchungen erfolgte die Beschränkung auf die Oberflächendaten des Stationsnetzes zur Analyse des Kühlwassereinflusses auf das Untersuchungsgebiet.

Die Methode der Differenzbetrachtung zur Beurteilung des KKW-Einflusses auf das Untersuchungsgebiet im Greifswalder Bodden bringt gegenüber den bisherigen Mittelwertbetrachtungen deutlichere Aussagen.

Diese Methode gestattet einen Vergleich aller Untersuchungen, unabhängig von äußeren Faktoren, wie saisonale Schwankungen, Wind und Änderungen im Kühlwasserausstoß.

Die Betrachtung des Untersuchungsgebietes erfolgt nach zwei Gesichtspunkten. Zum einen ermöglicht die Zuordnung der Stationen in die entsprechenden Merkmalskriterien eine Aussage der tatsächlichen Ausbreitungsfläche des Kühlwassers unter Berücksichtigung des Windfaktors. Zum anderen kann nach Zonierung des Untersuchungsgebietes mittels der Salzgehalts- und Temperaturdifferenzen der Langzeiteffekt des KKW-Einflusses auf eine bestimmte Region des Untersuchungsgebietes ermittelt werden. Voraussetzung dafür war die relativ lange Zeitreihe von 6 Untersuchungsjahren.

Für die Ermittlung der ständig vom Kühlwasser beeinflussten Region ließ sich die Gegenüberstellung der Konfidenzintervalle der Temperatur- und Salzgehaltsdifferenzen in Abhängigkeit vom Abstand zum Kühlwasserausstromkanal zur Differenzierung der oben genannten Region erfolgreich anwenden.

Die somit vom Langzeiteffekt des Kühlwassers ermittelten Stationen ermöglichten nun über die Betrachtung der Parameter, den Einfluß des Kühlwasserkörpers auf bestimmte Faktoren

durch Vergleich mit den Boddenverhältnissen zu untersuchen. In seiner Langzeitwirkung weist das Kühlwasser einen deutlichen Einfluß auf den Sauerstoffgehalt innerhalb eines Radius von einer Seemeile vom Ausstromkanal auf. Die Region bis zu zwei Seemeilen vom Ausstromkanal könnte man als Übergangszone zu Boddenverhältnissen bezüglich des Sauerstoffgehaltes werten.

Somit wird der Kühlwassereinfluß über Sauerstofflöslichkeit des Wasserkörpers auf die Größe Sauerstoffgehalt wirksam.

Ein Einfluß des Kühlwassers auf den Faktor pH innerhalb einer bestimmten Region war nicht zu verzeichnen.

Wohingegen die Differenzierung der Stationen nach den entsprechenden Merkmalskriterien eindeutige Unterschiede im pH-Wert aufzeigt. Hierbei wird der eutrophierende Effekt des Peenewassers durch höchste pH-Werte deutlich.

Somit entsteht durch den kontinuierlichen Umpumpvorgang des Kühlwassers aus der Peeneregion in den Greifswalder

Bodden ein zusätzlicher Eutrophierungseffekt durch das KKW. Sichtbar ist dies an der Mittelstellung des pH in der kühlwasserbeeinflussten Region. (s. Tab. 1)

Eine tiefere Analyse der Sichttiefenwerte als zusätzliches Glied neben pH und Sauerstoff zur Betrachtung von Eutrophierungseffekten wurde auf Grund der Lage des Stationsnetzes vermieden, da bei den Flachwasserstationen die Sichttiefenmessung oft mit der Lottiefe übereinstimmte und somit ein natürlicher Vergleich der Secchiwerte nicht gegeben war.

Die somit über die Temperatur- und Salzgehaltsdifferenzen ermittelte Haupteinflußregion des Kühlwassers im Untersuchungsgebiet gestattet nun weitergehende Untersuchungen zum KKW-Einfluß auf das Reproduktionsgewässer Greifswalder Bodden.

Dies betrifft insbesondere den Einfluß auf das Zooplankton als Nährtiere für Fischlarven sowie die Benthosorganismen als Indikatoren für den Gewässerzustand.

Abb. 10–14 auf den folgenden Seiten

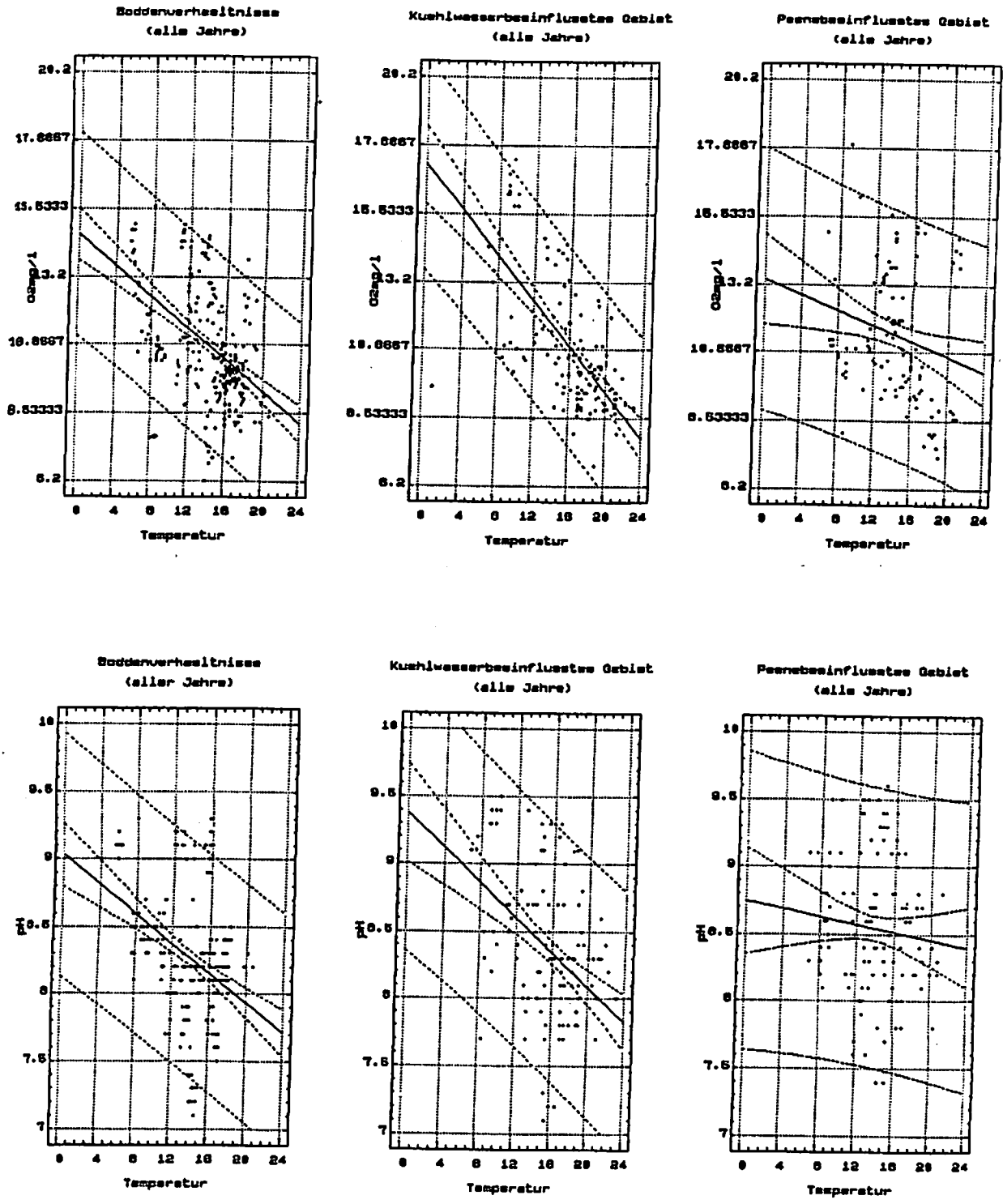


Abb. 10

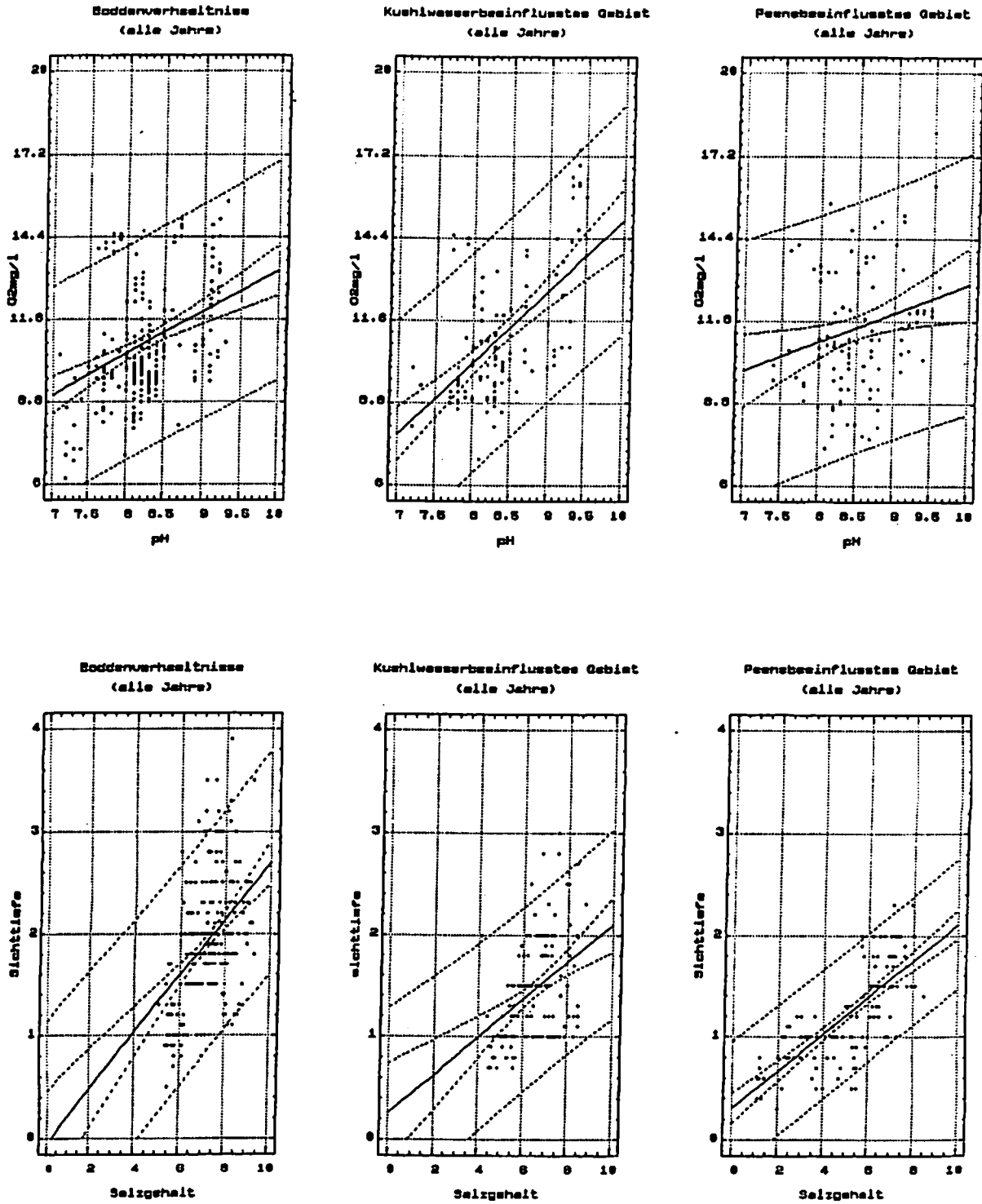


Abb. 11

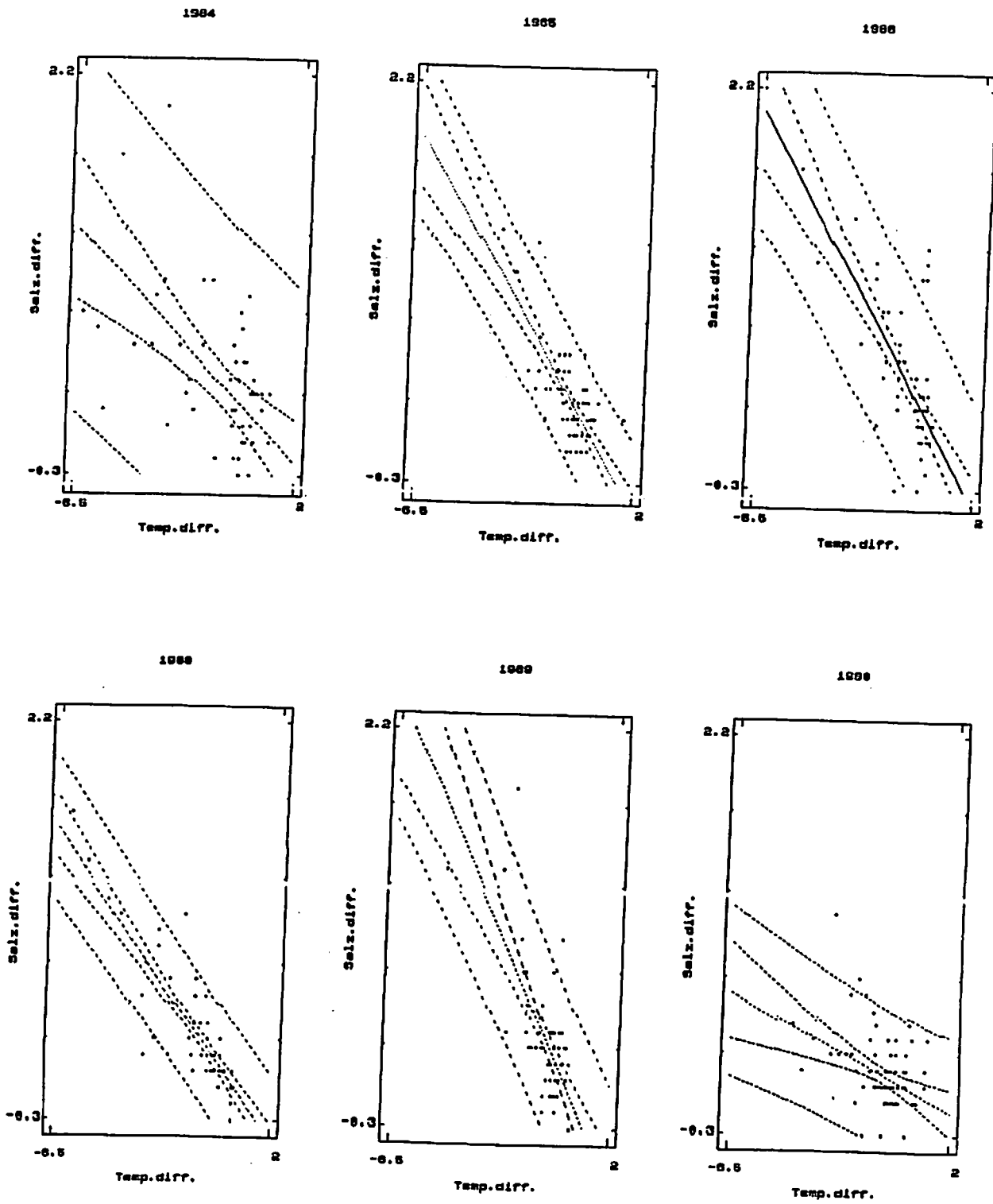
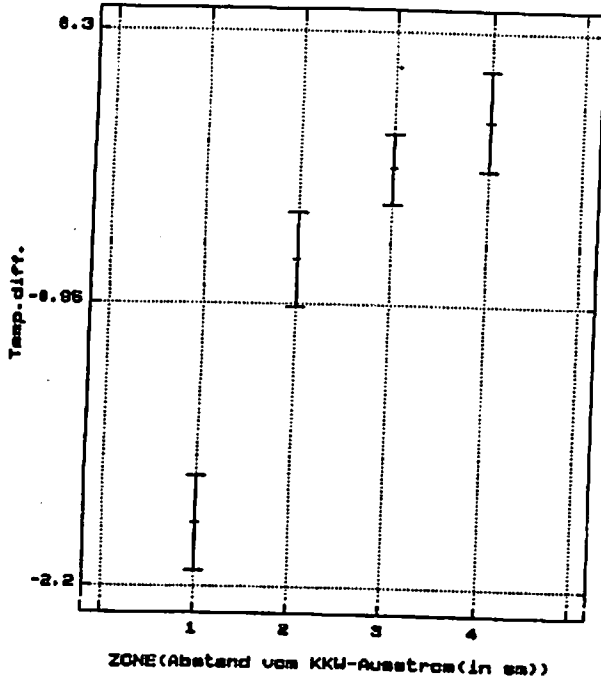
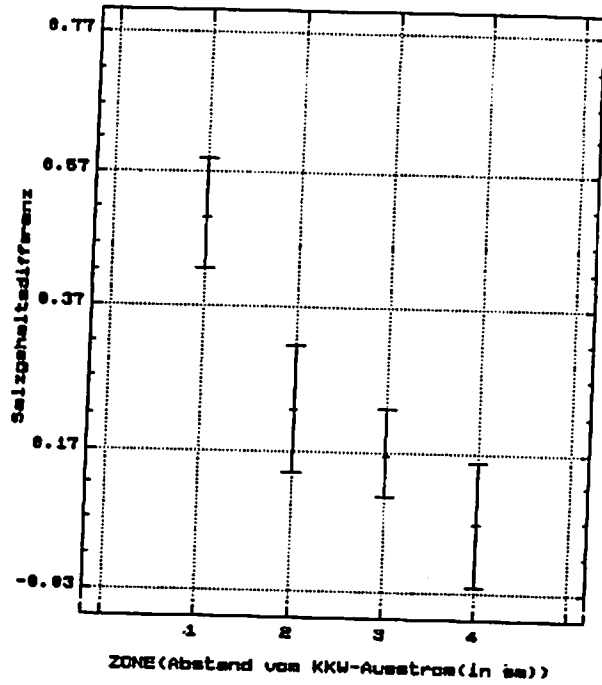


Abb. 12

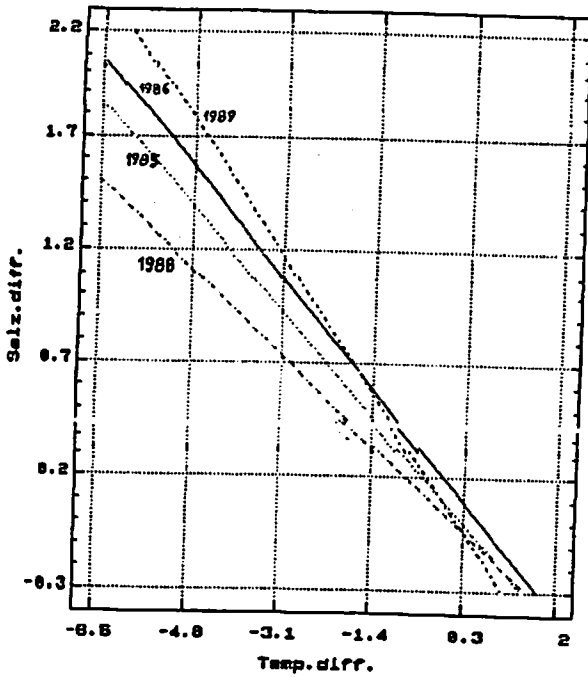
Konfidenzintervalle der Temperaturdifferenzen in den Zonen 1-4 aller Jahre



Konfidenzintervalle der Salzgehaltedifferenzen in den Zonen 1-4 aller Jahre



Darstellung der Regressionsgeraden der Jahre 1985, 1986, 1988, 1989



Darstellung der Regressionsgeraden der Jahre 1984, 1988, 1989, 1990

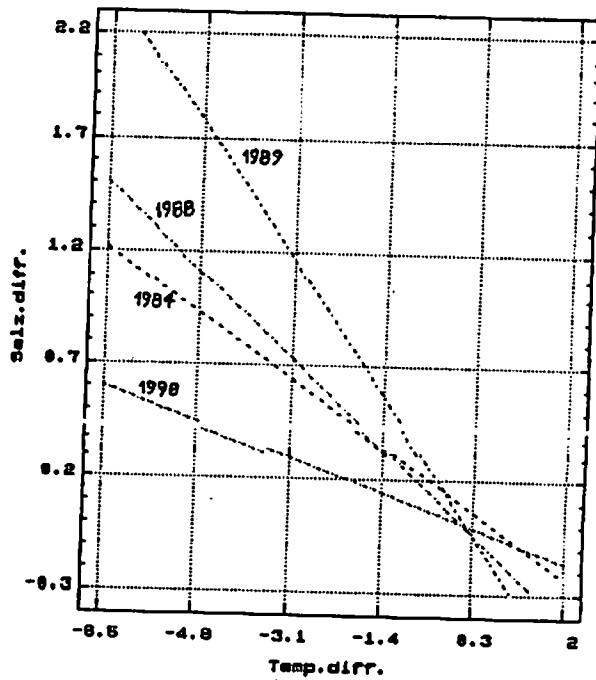
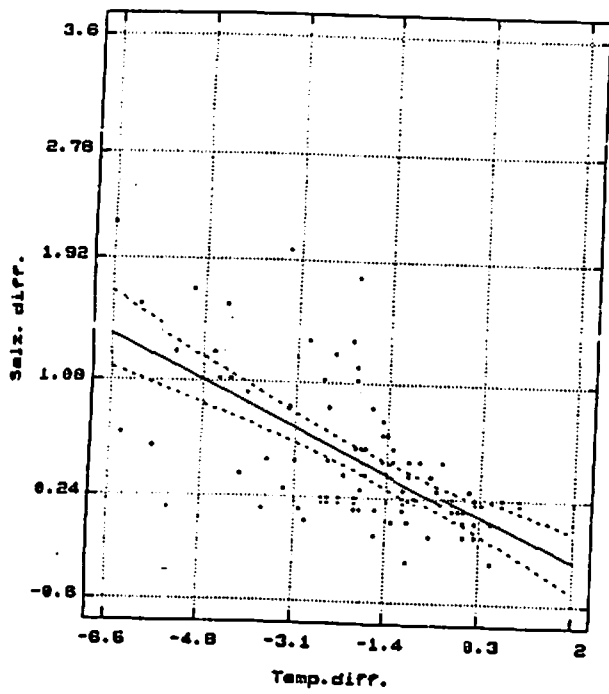


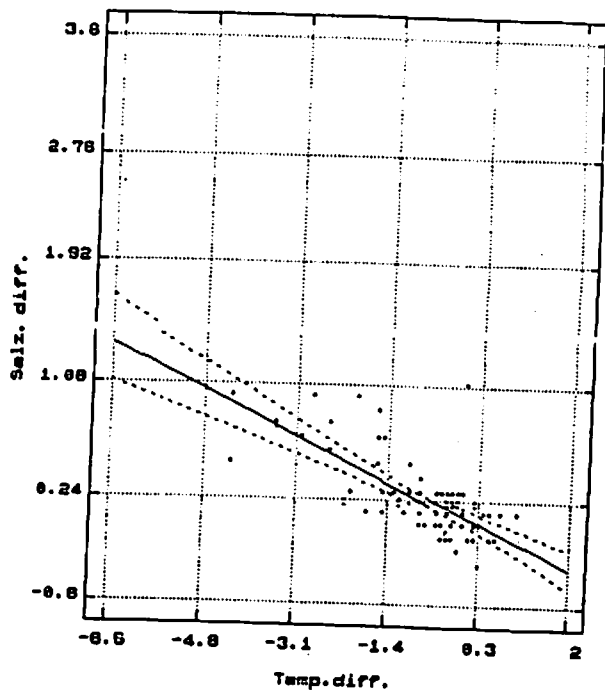
Abb. 13



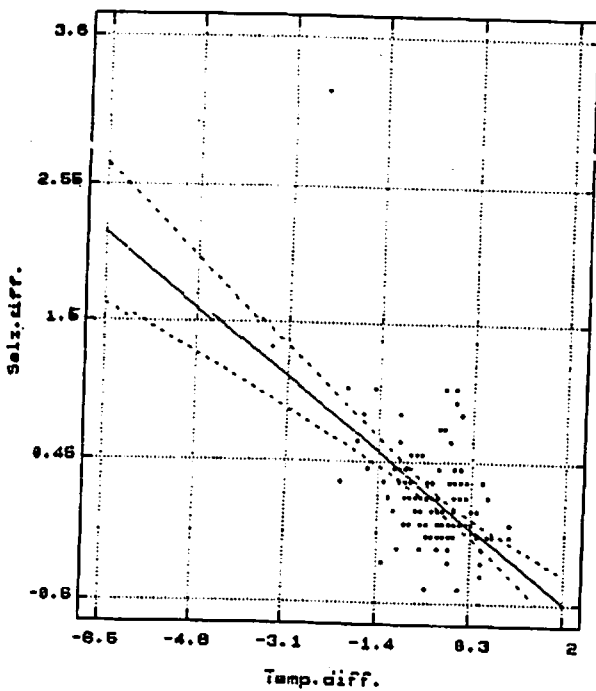
Regressionsgerade Zone 1 aller Jahre



Regressionsgerade der Zone 2 aller Jahre



Regressionsgerade der Zone 3 aller Jahre



Regression Zone 4 aller Jahre

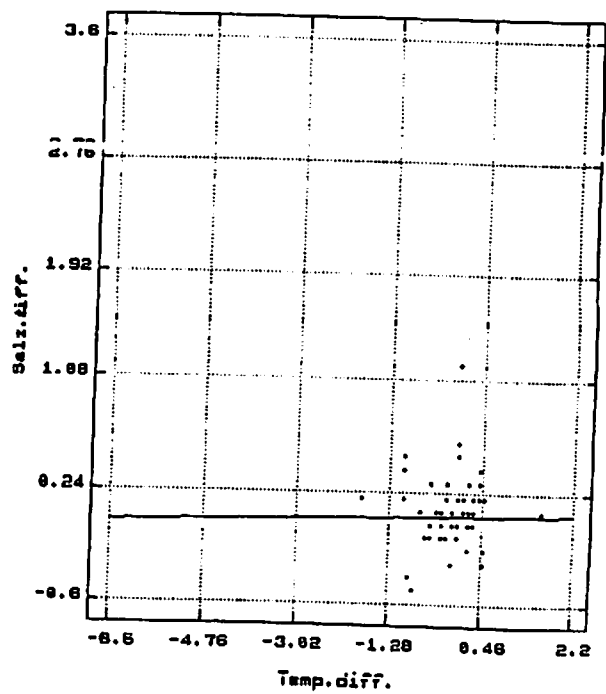


Abb. 14