

## OSTSEEFISCHEREI

### Auswirkungen der Salzeinströme 1993/1994 auf die ozeanographischen Bedingungen in der zentralen Ostsee

W. Matthäus, Institut für Ostseeforschung, Warnemünde

**Effects of the salt water inflows during 1993 to 1994 on the oceanographic conditions in the central Baltic Sea**

**The effects of both the major Baltic inflow in January 1993 and two smaller inflows in December 1993 and March 1994 on the environmental conditions in the Bornholm, Gdansk and eastern Gotland Basins are described. These inflows terminated the 16-year stagnation of the central Baltic deep water and led to a moderate increase in salinity, but to the highest oxygen concentrations in the Gotland Deep since the 30ies.**

Bis Mitte der 70er Jahre traten Salzwassereinbrüche in die Ostsee in mehr oder weniger regelmäßigen Abständen auf. Seitdem hat sich ihre Häufigkeit und Intensität jedoch beträchtlich verringert. Als Folge ging der Salzgehalt drastisch zurück und im Zusammenwirken mit der Eutrophierung bildeten sich die höchsten jemals gemessenen Konzentrationen von Schwefelwasserstoff im Tiefenwasser der zentralen Ostsee.

Der Salzwassereinbruch im Januar 1993 und die Einströme im Winter 1993/94 stoppten diese Entwicklung und führten zum Anstieg im Salzgehalt des Bornholm-, Danziger und östlichen Gotlandbeckens. Erstmals seit 1977 wies das Tiefenwasser der gesamten Ostsee wieder oxische Bedingungen auf, wobei im Gotlandtief die höchsten Sauerstoffkonzentrationen seit den 30er Jahren gemessen wurden.

Einströme großer Mengen salz- und sauerstoffreichen Wassers in die Ostsee - die sogenannten Salzwassereinbrüche - gehören zu den extremen Wasseraustauschprozessen zwischen Nord- und Ostsee. Sie stellen stets die Endstufe länger andauernder Einstromprozesse dar. Salzwassereinbrüche haben sporadischen Charakter und sind ein relativ seltenes Phänomen. Insgesamt konnten seit Beginn dieses Jahrhunderts 92 derartige Ereignisse unterschiedlicher Intensität identifiziert werden (Matthäus und Franck, 1992). Seit dem letzten effektiven Salzwassereinbruch im Jahre 1975/76 hat sich die Häufigkeit und Intensität derartiger Ereignisse jedoch beträchtlich verringert und zwischen Anfang 1983 und Ende 1992 hat es überhaupt keine Salzwassereinbrüche gegeben. Salz- und Sauerstoffgehalt gingen im Tiefenwasser der zentralen Ostsee zurück, und es kam zur Bildung der höchsten jemals gemessenen Konzentrationen des lebensfeindlichen Schwefelwasserstoffs.

Im Januar 1993 trat nach 16 Jahren Stagnation im Tiefenwasser des östlichen Gotlandbeckens wieder ein Salzwassereinbruch auf, bei dem salz- und sauerstoffreiches Wasser die Drogden und Darßer Schwelle passierte (Abb. 1). Vorausgegangen war eine 3wöchige Periode starker westlicher Winde und orkanartiger Stürme, in deren Verlauf der Einstromprozeß zwischen dem 18. und 28. Januar in einem Salzwassereinbruch kulminierte (Matthäus et al. 1993). Im Verlaufe des Einstromprozesses gelangten insgesamt 310 km<sup>3</sup> Wasser in die Ostsee, davon etwa 135 km<sup>3</sup> mit Salzgehalten 17 PSU. Das während der Hauptphase über die Darßer Schwelle eingeströmte Wasser hatte mittlere Eigenschaften von etwa 19 PSU, 3,5 °C und rund 8 cm<sup>3</sup> O<sub>2</sub>/cm<sup>3</sup> und wies somit eine mittlere Dichte von ca. 15  $\sigma$ -Einheiten auf.

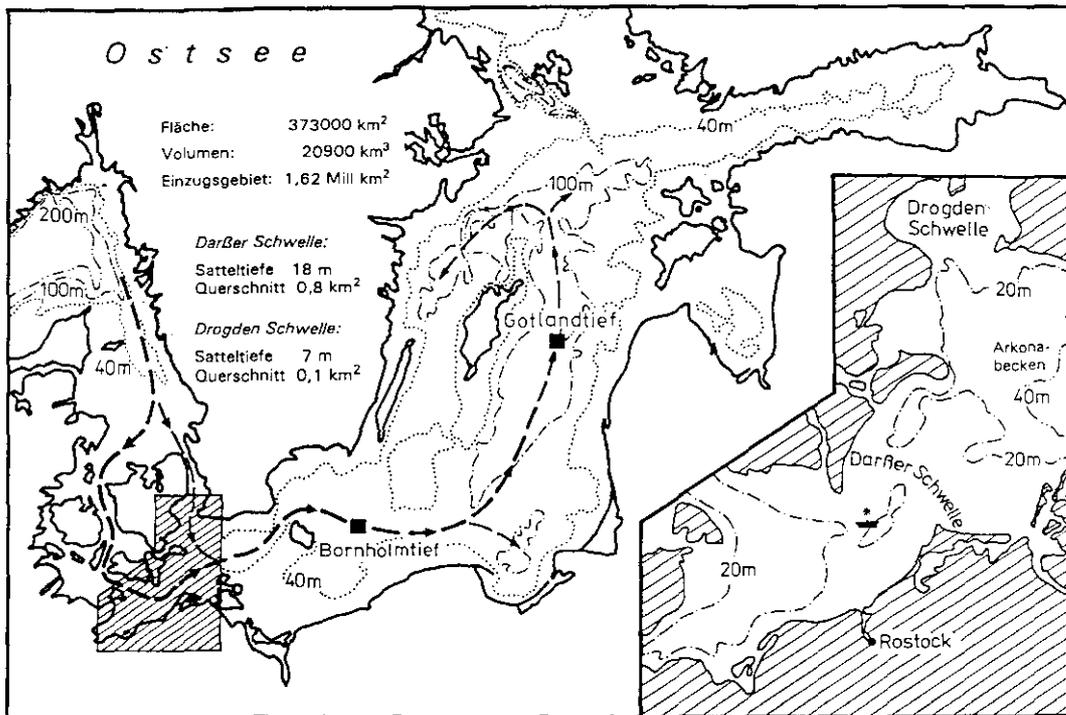


Abb. 1: Die zentrale Ostsee und das Übergangsgebiet zur Nordsee sowie die Hauptausbreitungsrichtung von eingeströmtem salz- und sauerstoffreichen Wasser entlang des Talweges durch die Ostsee (Zahlenangaben beziehen sich auf die Ostsee ohne Kattegat und Beltsee)

Das Ereignis des Jahres 1993 gehört bei den meist in Gruppen über mehrere Jahre auftretenden Salzwassereintrüben (Matthäus und Franck, 1992) zu den wenigen Einzelereignissen dieses Jahrhunderts. Für die Intensität wurde ein Index von rund 21 bestimmt, was den Salzwassereintrüben als Ereignis von mittlerer Stärke kennzeichnet. Verglichen mit allen Salzwassereintrüben dieses Jahrhunderts nimmt das Januar-Ereignis allerdings eine Sonderstellung sowohl im Hinblick auf die mit 21 Tagen sehr kurze Andauer des gesamten Einstromprozesses (im Mittel 32 Tage) als auch bezüglich des erreichten Füllungsgrades der Ostsee mit 70 cm über dem mittleren Wasserstand ein. Trotz der kurzen Andauer war die in das Arkonabecken eingeströmte Salzmenge relativ groß und führte zur Verlagerung der halinen Sprungschicht in Tiefen geringer als die Satteltiefe der Darßer Schwelle, so daß ein beträchtlicher Teil des eingeströmten Salzes mit Beginn des Ausstromprozesses wieder in die Beltsee zurückfließen konnte und somit für den Erneuerungsprozeß in der zentralen Ostsee verloren ging. Das reduzierte zusätzlich seine Effektivität.

Durch den Salzwassereintrüben wurde die längste und in ihren Veränderungen gravierendste Stagnationsperiode unterbrochen, die bisher in der Ostsee beobachtet wurde (Matthäus, 1991; Nehring und Matthäus, 1991). Im Tiefenwasser des östlichen Gotlandbeckens wurde im Verlauf dieser Periode ein drastischer Rückgang der Temperatur sowie des Salz- und Sauerstoffgehalts registriert (Abb. 2). Zu Beginn der Stagnation wurden in Grundnähe mit 7,4 °C die höchsten Temperaturen gemessen und im Jahre 1991/92 mit 7-8 mg/dm<sup>3</sup> die höchsten Konzentrationen an Schwefelwasserstoff registriert, die jemals im Gotlandtief gemessen wurden. Die Anfang 1993 im Bodenwasser beobachteten Salzgehalte von 11,1 PSU sind die niedrigsten dieser Station seit Beginn regulärer Messungen vor rund 100 Jahren (Abb. 2). Im Verlaufe der Stagnationsperiode kam es im 200 m Horizont des Gotlandtiefs zu einem mittleren Rückgang der Temperatur um 2 K und des Salzgehaltes um 2 PSU. Die Abnahme des Sauerstoffgehalts, einschließlich negativer

Sauerstoffäquivalente durch die Zunahme der Schwefelwasserstoffkonzentration, erreichte Beträge um  $9,5 \text{ cm}^3/\text{dm}^3$ .

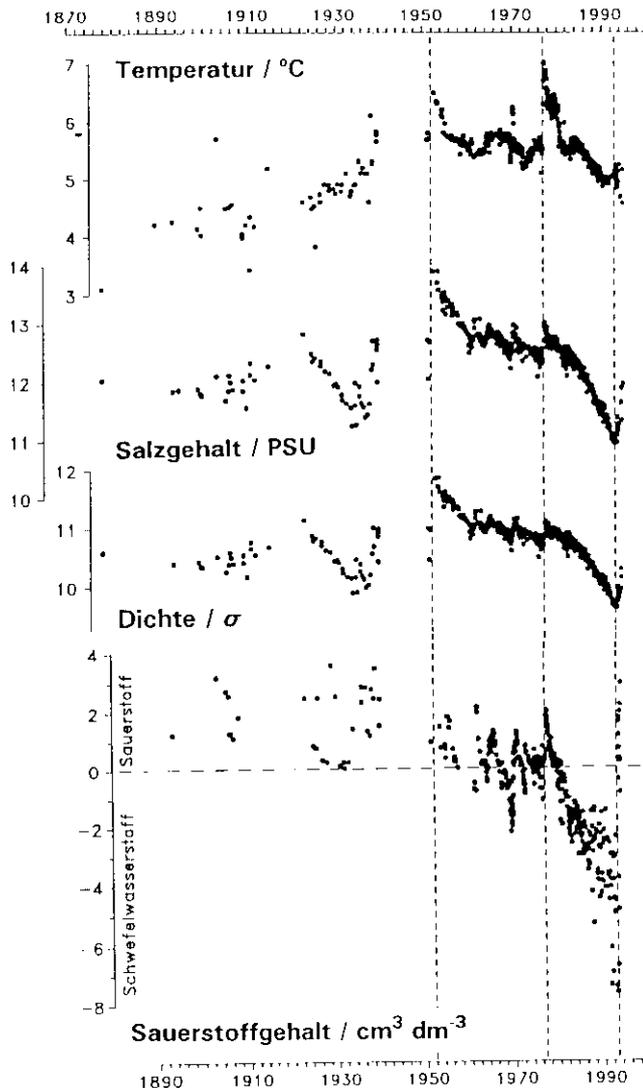


Abb. 2: Veränderungen von Temperatur, Salzgehalt, Dichte und Sauerstoffgehalt im 200 m Horizont des Gotlandtiefs (vergl. Abb. 1) im Verlaufe dieses Jahrhunderts

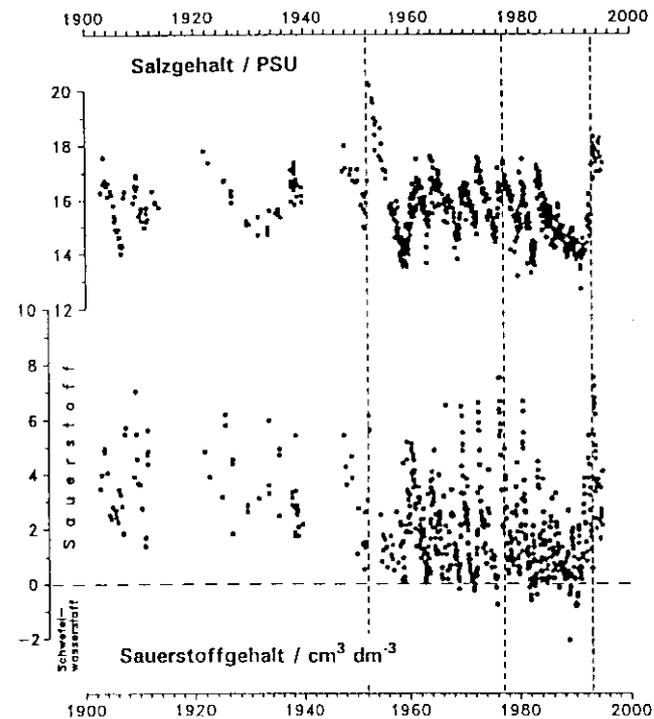


Abb. 3: Veränderungen von Salz- und Sauerstoffgehalt im 80 m Horizont des Bornholmtiefs (vergl. Abb. 1) im Verlaufe dieses Jahrhunderts

Bereits Mitte Februar 1993 waren erhebliche Mengen des eingeströmten salz- und sauerstoffreichen Wassers ins Bornholmbecken abgeflossen (vgl. Abb. 4E) und führten dort in Bodennähe zu Erhöhungen bis auf 20 PSU im Salzgehalt bzw.  $7,5 \text{ cm}^3/\text{dm}^3$  im Sauerstoffgehalt. Im Bornholmbecken zeigte sich bereits seit Anfang der 90er Jahre eine mittlere Erhöhung im Salz- und Sauerstoffgehalt (vgl. Tabelle 1, Abb. 3 und 4 B - D), die bezüglich des Sauerstoffs auch im 100 m Horizont des östlichen Gotlandbeckens beobachtet wurde.

Im Verlaufe der Wassererneuerung stieg der Salzgehalt in der grundnahen Wasserschicht des Gotlandtiefs nur auf 11,8 PSU an. Durch den Salzwassereintruch wurde vor allem das Tiefenwasser des Bornholm- und Danziger Beckens nachhaltig mit Sauerstoff versorgt. Die im Februar bzw. März 1993 beobachteten Sauerstoffkonzentrationen waren die höchsten seit Ende der 70er

Jahre. Relativ günstige Sauerstoffverhältnisse herrschten in dieser Zeit auch im Südteil des östlichen Gotlandbeckens.

Tab. 1: Jahresmittelwerte und Standardabweichungen ausgewählter Größen im 80 m Horizont des Bornholmiefs (vgl. Abb. 1)

Jahr	T/°C	S/PSU	O <sub>2</sub> /cm <sup>3</sup> dm <sup>-3</sup>
1985	5,85 ± 0,94	15,22 ± 0,38	1,23 ± 0,81
1986	5,25 ± 1,17	14,86 ± 0,47	1,29 ± 0,85
1987	6,12 ± 0,66	14,68 ± 0,23	0,46 ± 0,30
1988	6,52 ± 1,01	14,20 ± 0,25	0,03 ± 0,98
1989	6,92 ± 0,51	14,38 ± 0,28	0,58 ± 0,87
1990	6,98 ± 0,60	13,88 ± 0,37	0,54 ± 0,73
1991	5,90 ± 0,97	14,19 ± 0,25	2,26 ± 1,06
1992	6,22 ± 0,35	15,26 ± 0,45	2,90 ± 1,38
1993	4,26 ± 0,18	17,66 ± 0,38	4,81 ± 1,70

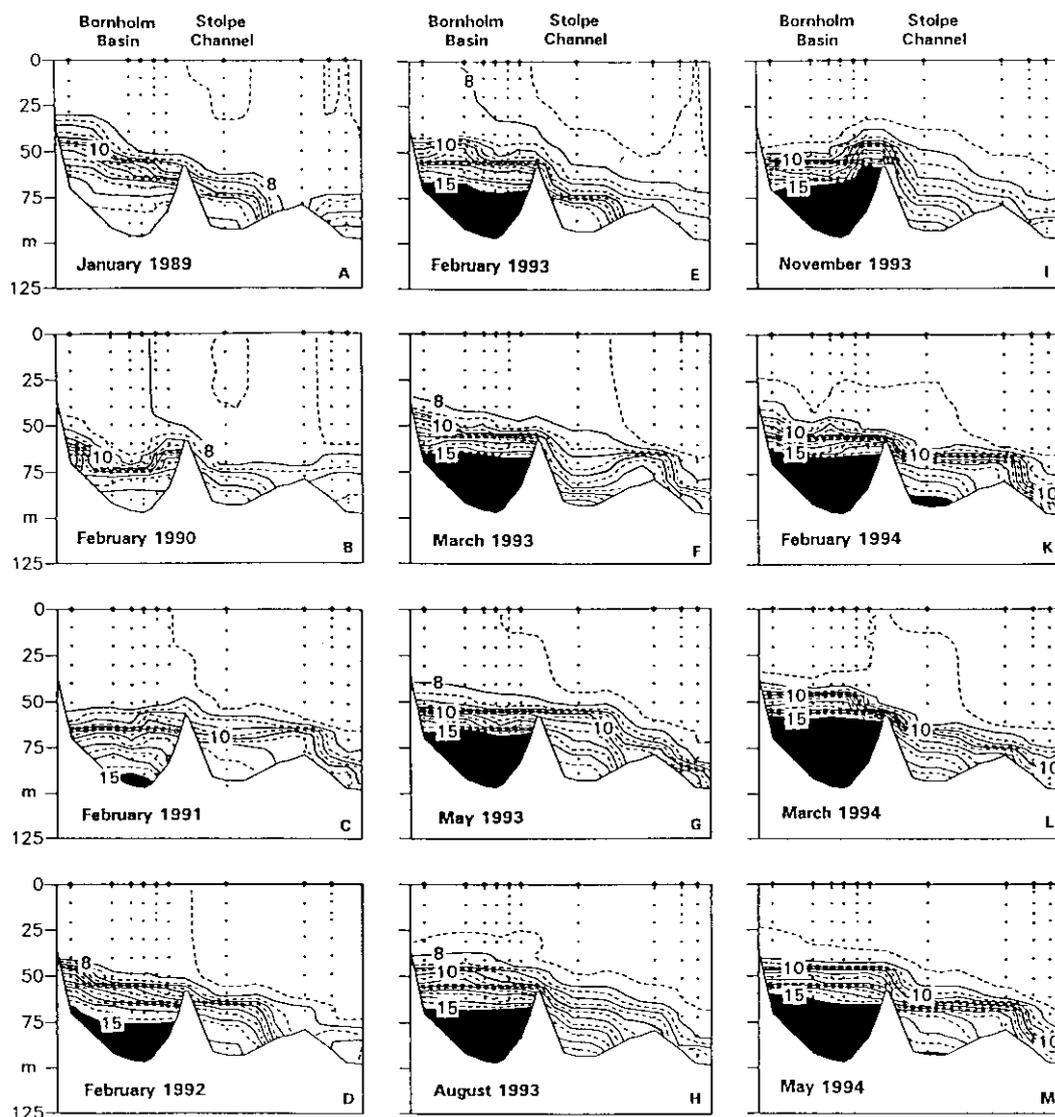


Abb. 4: Veränderungen der halinen Schichtungsverhältnisse im Bornholmbecken und der Stolper Rinne zwischen 1989 und 1994. (Salzgehalte >15 PSU sind schwarz eingefärbt)

Die Umschichtung im Gotlandtief infolge des Salzwassereinbruchs vom Januar 1993 führte nur zu einer begrenzten Sauerstoffversorgung im Tiefenwasser dieses Gebietes. Sie war durch starke Fluktuationen in der Sauerstoff- und Schwefelwasserstoffverteilung gekennzeichnet, die eine Folge der Pulsationen im Einstrom aus dem Bornholmbecken durch die Stolper Rinne darstellen. Lediglich Anfang Juli 1993 herrschten kurzzeitig in der gesamten Wassersäule oxische Bedingungen. Zumeist war eine anoxische Zwischenschicht vorhanden, die allerdings nur relativ geringe Schwefelwasserstoffkonzentrationen aufwies. Der hohe Gehalt an reduktiven Substanzen, der durch Sauerstoffzehrungsmessungen nachgewiesen wurde (Nehring et al., 1994), ist die Ursache dafür, daß sich bereits ab November 1993 erneut Schwefelwasserstoff in der grundnahen Wasserschicht des Gotlandtiefs auszubreiten begann. Im Tiefenwasser des Fårötiefs blieben die anoxischen Bedingungen das ganze Jahr über erhalten. Im Bornholm- und Danziger Becken wurde in der 2. Jahreshälfte wieder ein starker Rückgang des Sauerstoffgehalts beobachtet. Im westlichen und nördlichen Gotlandbecken setzte sich dagegen die günstige Entwicklung im Sauerstoffregime fort, die seit einigen Jahren infolge des gegenwärtig sehr niedrigen Salzgehalts in der grundnahen Wasserschicht dieser Becken beobachtet wurde.

Die Jahresmittelwerte des grundnahen Salzgehaltes auf der Darßer Schwelle waren 1993 bis zu 1,4 PSU höher als 1992, was auf einen intensiveren Austausch von Salzwasser zwischen Kattegat und Arkonabecken hinweist (Nehring et al., 1994). Salzgehalte von mehr als 15 PSU in der gesamten Wassersäule wurden jedoch nur im Januar sowie im Dezember 1993 festgestellt.

Im Dezember 1993 und März 1994 kam es zu kleineren Einströmen, die aber nicht das Ausmaß von Salzwassereinbrüchen erreichten. Dabei gelangten jeweils über 200 km<sup>3</sup> Wasser in die Ostsee, davon über die Drogden Schwelle jeweils etwa 45 km<sup>3</sup> mit Salzgehalten von ca. 30 PSU (Dezember) bzw. 23 - 25 PSU (März; pers. Mitt. H. Dahlin, SMHI Norrköping). Der mittlere Salzgehalt des über die Darßer Schwelle eingestömten Wassers überschritt jedoch in beiden Perioden nicht 17 PSU.

Im Januar 1994 wurden die Auswirkungen im zentralen Arkona- (Bodensalzgehalt >22 PSU) und Bornholmbecken (Bodensalzgehalt >19 PSU) beobachtet (BSRI, Januar 1994).

Der Salzwassereinbruch vom Januar 1993 hatte nahezu das gesamte Bornholmbecken mit salzreichem Wasser von über 15 PSU gefüllt. Diese Situation blieb das ganze Jahr erhalten (Abb. 4E - I). Das salz- und sauerstoffreiche Wasser, das mit den Einströmen im Dezember 1993 und März 1994 über die Darßer Schwelle in die Ostsee transportiert wurde (Salzgehalte <17 PSU) konnte in größerer Menge das Bornholmbecken passieren ohne erst das Tiefenbecken bis zur 60 m Satteltiefe aufweisenden Schwelle zur Stolper Rinne aufzufüllen (vgl. Abb. 4K - M). Dadurch gelangte es relativ schnell ins Danziger, Gotland- und Fårötief.

Im Mai 1994 stiegen Salz- und Sauerstoffgehalt im Danziger Tief auf 13,6 PSU bzw. 3,4 cm<sup>3</sup>/dm<sup>3</sup>. In Grundnähe des Gotlandtiefs wurden 12,4 PSU gemessen. Die Sauerstoffkonzentrationen im Tiefenwasser zwischen 170 m und Meeresgrund erreichten mit etwa 3 - 3,8 cm<sup>3</sup>/dm<sup>3</sup> Werte, wie sie seit den 30er Jahren nicht gemessen wurden (vgl. Abb. 2). Schwefelwasserstoff verschwand nahezu vollständig im Gotland- und Fårötief. Gegenwärtig ist das Tiefenwasser der gesamten Ostsee bis auf eine Zwischenschicht im Gotlandtief und das Tiefenwasser des Fårötiefs gut mit Sauerstoff versorgt.

Das Eindringen des sauerstoffreichen Wassers ins Gotlandtief führte zu Veränderungen in der Verteilung der Nährstoffe. Phosphat- und Silikatkonzentrationen gingen im gesamten Wasserkör-

per unterhalb der Salzgehaltssprungschicht als Folge chemischer Reaktionen und Verdünnungseffekte zurück, während die Nitratkonzentration zunahm. Im Mai wurden allerdings überraschend hohe Ammoniumkonzentrationen im Tiefenwasser gemessen (BSRI, 1993/94).

Die im Mai beobachteten Wasserkörper mit relativ hohen Konzentrationen von Salz- und Sauerstoffgehalt im Bereich der Stolper Rinne (bis 15 PSU, bis  $4,7 \text{ cm}^3 \text{ O}_2/\text{dm}^3$ ) werden im Verlaufe des Jahres 1994 nur noch zu geringfügigen Erhöhungen führen. Im Sommer und Herbst muß jahreszeitlich bedingt mit einem Rückgang gerechnet werden, wobei es wieder zur Bildung von  $\text{H}_2\text{S}$  zumindest im Fårötief kommen kann. Sollte die im Jahre 1993 beobachtete Intensivierung des Wasseraustausches zwischen Nord- und Ostsee erhalten bleiben, ist in den nächsten Jahren mit günstigen Salz- und Sauerstoffverhältnissen im Bornholm-, Danziger und östlichen Gotlandbecken zu rechnen.

### Zitierte Literatur

- Baltic Sea Research Institute Warnemünde: Cruise Reports 1993 to 1994
- Matthäus, W.: Langzeittrends von Temperatur, Salzgehalt und Sauerstoffgehalt im Tiefenwasser der Ostsee. Arb. Dt. Fisch.-Verb., H. 54: 31 - 47, 1991.
- Matthäus, W.; H. Franck: Characteristics of major Baltic inflows - a statistical analysis. Continental Shelf Research, 12: 1375 - 1400, 1992.
- Matthäus, W.; H. U. Lass; R. Tiesel: The major Baltic inflow in January 1993. ICES Statutory Meeting Dublin, Paper C.M.1993/C:51, 16 S.
- Nehring, D.; W. Matthäus: Current trends in hydrographic and chemical parameters and eutrophication in the Baltic Sea. Int. Revue ges. Hydrobiol., 76: 297 - 316, 1991.
- Nehring, D.; W. Matthäus; H. U. Lass; G. Nausch: Hydrographisch-chemische Zustandseinschätzung der Ostsee 1993. Wiss. Bericht, Institut für Ostseeforschung Warnemünde, April 1994, 43 S.

## FISCH UND UMWELT

### Planung des Probenumfangs für analytische Untersuchungen

**Hans-Jürgen Kellermann, Institut für Fischereiökologie, Hamburg**

Fische nehmen Schadstoffe aus ihrer Umwelt über Futter oder durch direkten Haut- bzw. Kiemenkontakt individuell unterschiedlich stark auf, genauso wie alle anderen biologischen Systeme auch. Daraus folgt, daß bei Untersuchung mehrerer Tiere trotz genauer Analytik in ihren Schadstoff-Gehaltswerten stets eine natürliche Streubreite angezeigt wird, selbst wenn sie nach biologischen Kriterien selektiert und zur selben Zeit in einem als überall gleichartig belastet anzusehenden Gebiet gefangen wurden.

Sollen in einer Untersuchung Fische aus verschiedenen Gebieten bezüglich ihrer Belastung verglichen werden, so wird der Schätzwert für einen mittleren Gehaltswert in einem Gebiet umso besser, je mehr Proben zum Mittelwert beitragen. Auch die Beurteilung, ob die Vergleichsgebiete