

# Hydrographie und Wasseraustausch der Ostsee

Stefan Kraatz

Adresse: Kirchenweg 5, 24143 Kiel, stefan.kraatz@freenet.de

**Zusammenfassung:** Die Ostsee, eines der größten Brackwassermeere der Welt, weist aufgrund geographischer Gegebenheiten einige Besonderheiten auf, die dieses Meer in seiner Gesamtheit zu einem ökologisch fragilen und hydrographisch differenziertem Gebilde machen. Die Hydrographie der Ostsee ist gekennzeichnet von ihrer besonderen Bodentopographie, vom Klima der Region, von ihrer Größe und von den nur kleinen Verbindungen zum Weltmeer. All diese Faktoren spielen eine mehr oder minder große Rolle beim Wasseraustausch der Ostsee.

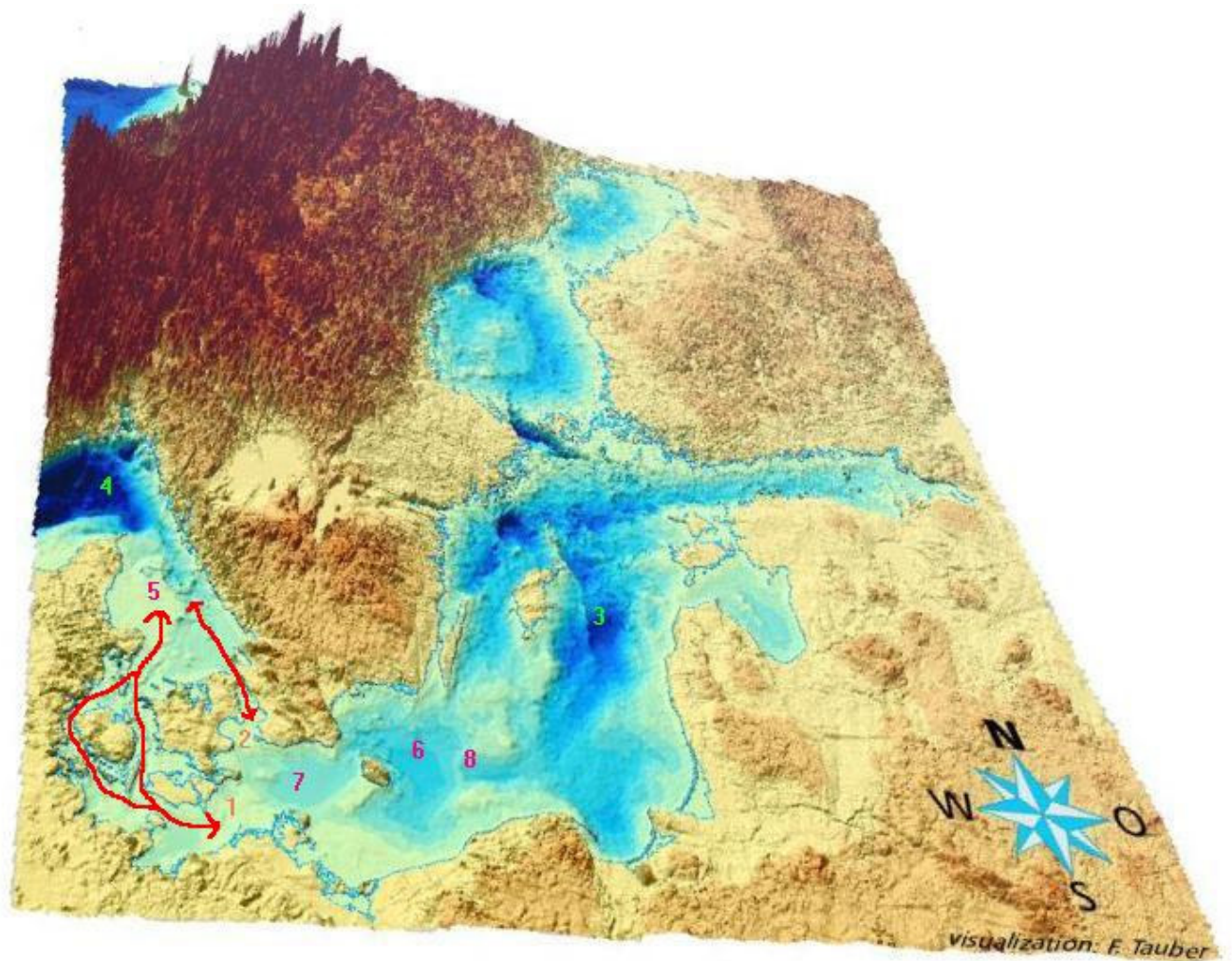
## 1. Einleitung

Nach einem Überblick über einige allgemeine Fakten der Ostsee im Hinblick auf klimatische Einflussgrößen, einem kleinen Einblick in hydrographische Bedingungen sowie der Vorstellung der topographische Gegebenheiten, wird im weiteren Verlauf dieser Arbeit zunächst auf einige ozeanographische Kenngrößen wie Sauerstoffgehalt, Temperatur und Salzgehalt des Ostseewassers eingegangen. Danach wird der Wasseraustausch mit der Nordsee näher beleuchtet, wobei zunächst das Übergangsbereich zwischen Nord- und Ostsee mit seiner besonderen Schichtung der Wassersäule betrachtet wird. Anschließend wird der klimatische Einfluss auf den Wasseraustausch vorgestellt. Dann sollen die für die ökologischen Verhältnisse in der Ostsee so wichtigen Salzwassereinträge beschrieben und ihre Auswirkungen erklärt werden. Den Abschluss dieser Arbeit bildet die differenzierte Betrachtung des Oberflächenwassers und des Tiefenwassers der Ostsee mit den jeweils charakteristischen Schichtungen und hydrographischen Besonderheiten.

## 2. Überblick

Die Ostsee ist ein Meer, dessen Wasser sich im Mittel nur etwa alle 25-35 Jahre erneuert. Die Ostsee besitzt ein Wasservolumen von 21600 km<sup>3</sup>. Sie hat eine positive Wasserbilanz, d.h. es fließt mehr Wasser aus der Ostsee ab, als einströmt. Ca. 440 km<sup>3</sup> werden jährlich durch Flüsse des Einzugsgebietes zugeführt, 225 km<sup>3</sup> kommen als direkter Niederschlag hinzu. Der Einstrom von salzreichem Wasser beträgt ca. 470 km<sup>3</sup>. Abzüglich der Verdunstung von 185 km<sup>3</sup> ergibt sich ein Ausstromwert von 950 km<sup>3</sup>. Die Niederschläge und die Flusswasser führen dazu, dass sich im Oberflächenwasser der Ostsee weniger salzhaltiges und damit ein Wasser geringerer Dichte als das Tiefenwasser etabliert und von diesem durch eine scharfe thermohaline Grenzschicht getrennt wird. Durch diese Dichteschichtung ist der vertikale Energie- und Stoffaustausch erheblich eingeschränkt. Aus diesem Grund ist die einzig effektive Möglichkeit, das Tiefenwasser der Ostsee zu erneuern, ein horizontaler Zustrom salzreichen und damit dichteren Wasser aus der Nordsee. Allerdings ist dieser Austausch durch mehrere Faktoren erschwert. Die Verbindungen zur Nordsee durch die Belte und den Sund haben einen Gesamtquerschnitt von nur 0,35 km<sup>2</sup>. Ein noch größeres Hindernis stellen jedoch die unterseeischen Schwellen dar. Wenn der Einstrom des dichteren Nordseewassers, aus Gründen, die später noch beleuchtet werden, nicht stark genug ist, stellen diese Schwellen, insbesondere die Darßer

Schwelle, ein schwer überwindliches Hindernis für die sich langsam am Ostseeboden ausbreitenden dichteren Wasser der Nordsee dar. Daher kommt es häufig vor, dass über einen längeren Zeitraum kein nennenswerter Wasseraustausch, vor allem in den Becken der zentralen Ostsee, stattfindet. Das hat zur Folge, dass in den tiefen Regionen der Ostsee stagnierende Bedingungen vorherrschen, die durch eine dramatische Abnahme des Sauerstoffgehaltes und teils drastischer Zunahme der Schwefelwasserstoffkonzentrationen zu äußerst lebensfeindlichen Bedingungen führen.



**Abb. 1:** Bodentopographie der Ostsee mit für Wasseraustausch und Hydrographie markanten Stellen  
(Quelle: verändert nach T. Seifert, F. Tauber, B. Kayser: 2001)

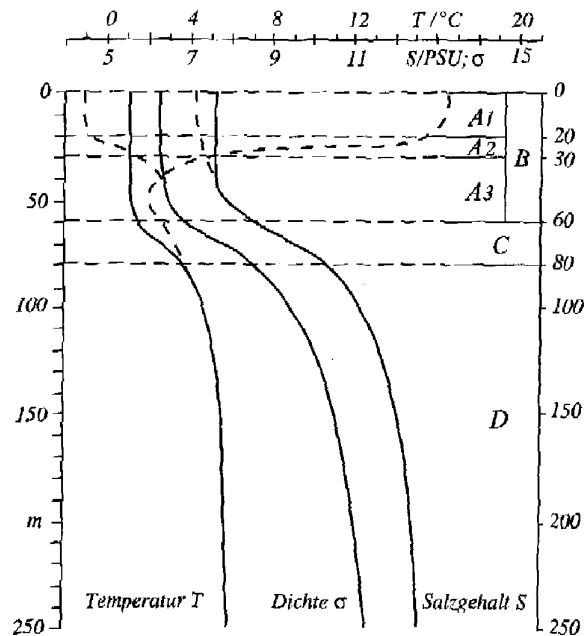
Erläuterung zu Abb. 1: Die Wege, die das Wasser nimmt, sind durch die roten Pfeile dargestellt (von Ost nach West: Durch den Öresund, den großen Belt und den kleinen Belt). Damit das salzreiche Nordseewasser aus dem Skagerrak (4) und dem Kattegatt (5) in die Ostsee strömen kann, muss es den Weg durch den großen Belt (Satteltiefe 27 m) über die Darßer Schwelle (1) mit einer Satteltiefe von nur 18 m nehmen. Da die Droggen-Schwelle (2) nur eine Satteltiefe von 7 m aufweist, findet rund 73% des Wasseraustausches über die Darßer Schwelle statt. Ist die Menge des einströmenden

salzreichen Wassers groß genug, strömt es über die Darßer Schwelle hinweg in das Arkonabecken (7) und das Bornholmbecken (6). Um in die zentrale Ostsee hineinzuströmen muss es nun noch die Stolper Schwelle (8) überwinden (60 m Satteltiefe). Ist diese Hürde überwunden, kann das salzreiche und sauerstoffreiche Wasser in das Gotlandbecken (3) vordringen, wo aufgrund der thermohalinen Schichtung und des seltenen vertikalen Wasseraustausches oft hypoxische und anoxische Zustände vorherrschen und so eine lebensfeindliche Umgebung entsteht.

### **3. Hydrographie**

#### **3.1 Salzgehalt, Temperatur und Sauerstoffgehalt**

Der Salzgehalt des Ostseewassers unterliegt starken räumlichen und zeitlichen Veränderungen. Während die Nordsee einen Salzgehalt von ca. 34 PSU (Practical Salinity Unit= kg Salz pro 1000 kg Wasser) aufweist, so nimmt der Salzgehalt des Ostseewassers von Westen nach Osten kontinuierlich ab. In der Kieler Bucht werden etwa 20-30 PSU gemessen, in der Zentralen Ostsee noch 10 PSU und im Bottnischen Meerbusen werden nur noch etwa 2 PSU erreicht. Diese Werte sind allerdings nicht für die gesamte Wassersäule repräsentativ, vielmehr gibt es große Unterschiede zwischen Oberflächenwasser und Tiefenwasser. Grund dafür ist die positive Wasserbilanz der Ostsee als Folge der klimatischen Bedingungen in der Ostseeregion. Die beträchtliche Süßwasserzufuhr, vor allem in der nördlichen Ostsee, führt zu einem Höhenunterschied im Wasserstand von 34-40 cm zwischen dem Bottnischen Meerbusen und dem Skagerrak. Dieser Höhenunterschied bewirkt ein Druckgefälle und damit einen ostseeauswärts gerichteten Strom salzärmeren Wassers (Matthäus 1996). Dieses Wasser hat im Übergangsbereich zwischen Nord- und Ostsee eine spezifisch geringere Dichte als das Nordseewasser, welches in Form eines Kompensationsstroms, aufgrund der höheren Dichte in Bodennähe ostseeinwärts strömt. Dieses Wasser dringt durch die Belte und den Sund in die Ostsee ein. Da Ostseewasser und Nordseewasser unterschiedliche Dichten und meist auch unterschiedliche Temperaturen haben, entsteht eine stabile thermohaline Schichtung, das heißt, in der Wassersäule kann man immer mindestens zwei Schichten ausmachen, die verschiedene physikalische und chemische Eigenschaften aufweisen. Das Ostseewasser ist gekennzeichnet durch geringere spezifische Dichte und einen geringeren Salzgehalt, wohingegen das Nordseewasser höhere Dichten, einen größeren Salzgehalt und, zumindest im Winter, eine wesentlich höhere Sauerstoffsättigung hat. Der Dichteübergang zwischen den Schichten wird als Sprungschicht bezeichnet. Im Jahresgang gibt es jedoch räumliche Veränderungen in der Schichtung des Ostseewassers ( s. Abb. 2).



**Abb. 2:** Thermohaline Schichtungsstruktur der zentralen Ostsee im Sommer (gestrichelt) und Winter (Quelle: Matthäus 1996)

Im Winter gibt es im allgemeinen nur eine Schichtung. Das salzarme kalte Oberflächenwasser (B) wird durch die Sprungschicht (C) vom salzreichen, wärmeren Tiefenwasser (D) getrennt. Man kann in der Abbildung deutlich erkennen, wie sich das Temperatur- Salzgehalt- und Dichteprofil in einer Wassertiefe von etwa 60 m sprunghaft ändert. Wenn sich das Oberflächenwasser im Frühling erwärmt, bildet sich eine zweite Sperrschicht aus, bedingt durch temperaturabhängige Dichteunterschiede im Oberflächenwasser. Während sich die oberen 20 m erwärmen und dadurch eine geringere spezifische Dichte annehmen, bleibt in den unteren 20-30 m des Oberflächenwassers das winterliche kalte - und damit dichtere Wasser- bis zum Einsetzen der herbstlichen Konvektion in dieser Zwischenschicht konserviert.

## 4. Wasseraustausch

### 4.1 Übergang vom Nord zum Ostseewasser

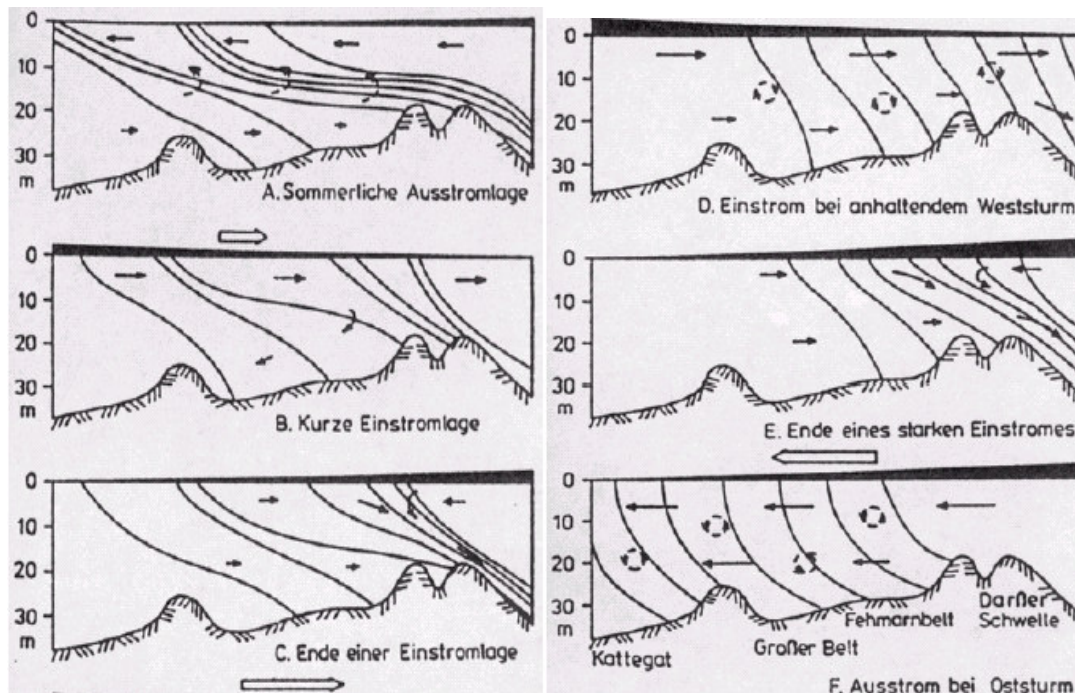
Zwei hydrographische Grenzflächen kennzeichnen den Übergangsbereich zwischen Nordsee und Ostsee. Die Skagerrakgrenzfläche trennt das Nordseewasser, welches hier Salzgehaltswerte von über 33 PSU aufweist, von dem Mischwasser des Kattegat mit Salzgehalten von 20 bis 26 PSU. Die zweite Grenzfläche ist die Beltseegrenzfläche, die das Mischwasser des Kattegat vom Brackwasser der Ostsee trennt, welches Salzgehalte von 6- 12 PSU aufweisen kann (Matthäus 1992). Diese Grenzflächen sind allerdings nicht ortstreu, denn aufgrund der starken Variabilität der Strömungsverhältnisse können die Grenzflächen in ihrer horizontalen Ausdehnung starken Verschiebungen unterliegen. Diese Verschiebungen der Grenzflächen bestimmen mit dem Grad ihrer Verlagerung, ob und wie viel Wasser zwischen Nord- und Ostsee ausgetauscht werden kann. Die Beltseegrenzfläche erreicht die Meeresoberfläche meist westlich der Darßer Schwelle. Ihre Position wird aber besonders durch Wetterlagen bestimmt, so dass starke Westwinde dazu führen können, dass sie sich nach Osten bis

über die Darßer Schwelle verschieben kann. Ostwinde hingegen können, wenn sie stark genug sind und lange genug andauern, die Grenzfläche bis in das südliche Kattegat verschieben. Die Skagerrakgrenzfläche schiebt sich durchschnittlich bis zum Boden des südlichen Kattegat vor. In den Frühjahrs- und Sommermonaten wird sie in der Regel jedoch ostwärts verlagert, denn Schneeschmelze im Frühjahr sowie höhere Niederschlagsmengen im Sommer im Einzugsgebiet der Ostsee, führen zu einem vermehrten Ausstrom salzärmeren Wassers aus der Ostsee. Dies hat zur Folge, dass sich in der Tiefe ein Ausgleichstrom salzreicheren Wassers ausbildet, der die Skagerrakgrenzfläche bis in die Nähe der Darßer Schwelle verschiebt und manchmal darüber hinaus. In diesen Fällen kommt es dann zu Einbrüchen salzreichen Wassers in die Ostsee. Im Herbst und Winter wird diese Grenzfläche nur unter dem Einfluss bestimmter Wetterlagen so weit östlich verlagert. Dann kann es zu den für den Wasseraustausch der Ostsee so wichtigen Salzwassereinbrüchen kommen. Im Übergangsbereich zwischen Nord und Ostsee sind die Verhältnisse dadurch geprägt, dass die beiden Grenzflächen stetig hin- und herwandern, abhängig davon, welche Wetterlage bestimmend ist, die die Strömungsrichtung beeinflusst. Aufgrund der engen Verbindung zwischen Nord- und Ostsee, die die vorherrschenden Strömungen quasi kanalisiert, kommt es nur zu zwei Strömungsrichtungen in diesem Bereich und zwar Einstrom in die Ostsee und Ausstrom in die Nordsee. Im Jahresdurchschnitt kommt es etwa zu 60 Einstromlagen und etwa 60 Ausstromlagen, die jeweils aufeinander folgen. Ausstromperioden dauern durchschnittlich etwa 20 Tage an und Einstromlagen höchstens 10 Tage (Matthäus 1992). Erklären lässt sich diese Differenz mit der positiven Wasserbilanz der Ostsee.

#### **4.2 Ein- und Ausstromlagen**

Da die Ostsee eine positive Wasserbilanz hat, ist der normale Ausstrom des Ostseewassers von geringer Bedeutung für ihre ozeanographischen Verhältnisse. Abb. 3 A zeigt nun eine sommerliche Ausstromlage bei windschwachen Wetterlagen. In diesem Fall kann sich nun, ungestört durch atmosphärische Einflüsse, ein Kompensationsstrom etablieren, der durchaus für nennenswerte Einträge salzreichen Wassers in die Ostsee sorgen kann, je nachdem, wie lange er anhält. Oberflächenwasser und Nordseewasser sind hierbei wieder durch eine Sprungschicht deutlich voneinander getrennt. Das sommerliche Nordseewasser hat allerdings nicht so große Auswirkungen auf den Sauerstoffgehalt des Ostseewassers, da es selbst nur eine geringe Sauerstoffsättigung aufweist. Vielmehr kann, wenn das Nordseewasser ein Sauerstoffdefizit zeigt, im Übergangsbereich der Beltsee eine Situation entstehen, die in Bodennähe zur Bildung von Schwefelwasserstoff führen kann.

Im Sommer kann es bei anhaltenden Westwinden zu Einstromlagen kommen, die meist nur von kurzer Dauer sind. Der Westwind drückt dabei das Oberflächenwasser nach Osten, woraufhin es zu einem Einstrom von Kattegatmischwasser kommt (Abb. 3 B). Am Ende der Einstromlage können dabei größere Mengen salzreichen Wassers über die Darßer Schwelle in die Ostsee vordringen (Abb.3 C).



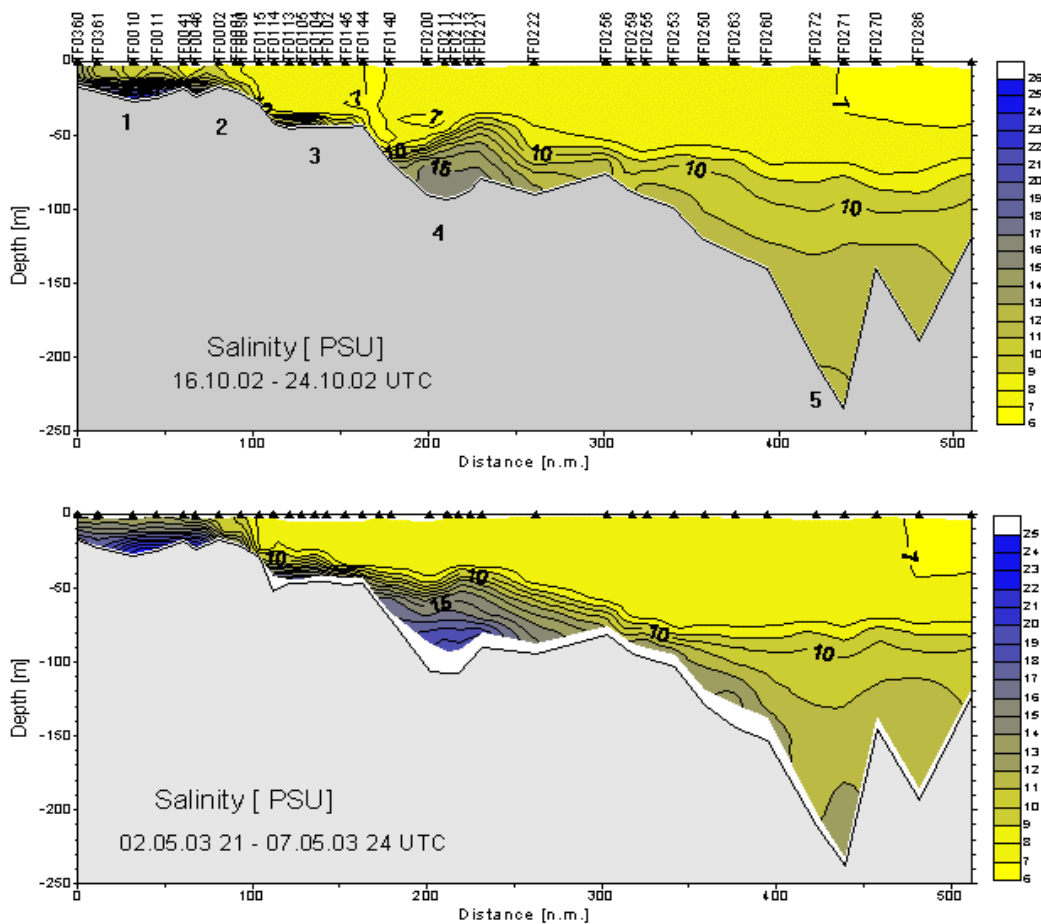
**Abb. 3:** Salzgehaltsgrenzflächen in Abhängigkeit von Einstrom und Ausstrom (Quelle: Matthäus, 1996-nach Wyrski 1954)

## 5. Salzwassereinbrüche

Von großer Bedeutung für den Wasseraustausch der Ostsee sind die in unregelmäßigen Abständen auftretenden Salzwassereinbrüche. Während die gewöhnlichen Einstromlagen wegen geringer Volumentransporte nur selten bis über die Darßer Schwelle hinaus in die zentrale Ostsee zu so genannten Intrusionen, d.h. Eindringen salzreichen Wassers, führen, kommt es vor allem im Herbst und Winter bei anhaltenden Weststürmen zu Salzwassereinbrüchen in das Tiefenwasser der Ostsee (Abb.3 D). Diese Salzwassereinbrüche sind von großer Bedeutung für die ozeanischen Bedingungen im Tiefenwasser. Sie bewirken eine Umschichtung des Wasserkörpers und erhöhen den Sauerstoff- und den Salzgehalt des Tiefenwassers, was dazu führt, dass sich die Bedingungen für Lebewesen schlagartig verbessern und ehemals sauerstofflose, lebensfeindliche Areale des Meeresbodens wieder von Organismen besiedelt werden. Allerdings gibt es jahreszeitliche Unterschiede in Bezug auf Sauerstoffgehalt und Salzgehalt der mit den Salzwassereinbrüchen einströmenden Wassermassen. Salzwassereinbrüche treten ausschließlich in einem Zeitraum von Ende August bis Ende April auf. Ereignisse, die zwischen September und Anfang Dezember auftreten, führen zu einem Anstieg der Temperatur des Tiefenwassers, jedoch nur zu einer mittleren Erhöhung des Sauerstoffgehalts. Dagegen führen Salzwassereinbrüche, die zwischen Januar und April stattfinden, zu einer Abkühlung und zu einer deutlichen Erhöhung des Sauerstoffgehaltes im Tiefenwasser. Das einströmende Wasser weist einen PSU- Wert von über 17 auf und bei Volumina über 100km<sup>3</sup> spricht man von intensiven Salzwassereinbrüchen, Volumen unter 100km<sup>3</sup> werden als Ereignisse geringerer Intensität bezeichnet. Der stärkste bis jetzt beobachtete Einbruch fand Ende November-Anfang Dezember 1951 statt. Bei diesem Salzwassereinbruch strömten über 200km<sup>3</sup> Wasser mit einer PSU von 22,5 in die Ostsee (Matthäus 1996). Durchschnittlich treten solche Ereignisse etwa 13mal in 10 Jahren auf. Bis in die Mitte der 70er Jahre geschah dies auch recht regelmäßig. Von 1978 bis heute gab es allerdings nur 5 solcher Einbrüche und auch nicht gerade von großer Intensität. Weil sie aber von großer Bedeutung



für die biologischen Bedingungen im Tiefenwasser sind, hat ihr Ausbleiben dramatische Konsequenzen für das Leben unterhalb der permanenten Sperrschicht. Das letzte Ereignis dieser Art war der Salzwassereinbruch Mitte Januar 2003. Ein Hochdruckgebiet über Skandinavien mit nordöstlichen Winden sorgte für einen niedrigen Wasserstand( - 30 cm bei Stockholm) der Ostsee. Am 11. Januar drehte der Wind dann auf West und nahm auf Sturmstärke zu. Das drängte die Wassermassen der Ostsee nach Osten und der Wasserstand der westlichen Ostsee sank auf -80 cm, was einen starken Einstrom salzhaltigen, sauerstoffreichen Nordseewassers zur Folge hatte. Der Weststurm hatte bis zum 18. Januar geweht und das Wasser bei Stockholm auf +25 cm angestaut. Ein einsetzender Südwind verhinderte nun, dass die salzhaltigen Wassermassen von dem angestauten Ostseewasser wieder in den Kattegat zurückgedrängt wurden, so dass sich das schwere Nordseewasser über den Ostseeboden in die Becken vorschieben konnte. Abb. 4 zeigt das vordringen des salzreichen Wassers am Boden der Ostsee. Im Mai 2003 hat es bereits das Bornholmbecken (4) erreicht (IOW 2003).



IOW 2003, Sektion Physik, B. Kayser

**Abb.4:** Salzgehalt des Ostseewassers im Oktober 2002 und im Mai 2003 ( Querschnitt Fehmarnbelt (1) bis zum Gotlandbecken (5)). (Quelle: IOW, 2003)

## 6. Oberflächenwasser

Das Oberflächenwasser der Ostsee ist normalerweise vertikal durchmischt und weist Salzgehalte von 15- 25 PSU im Übergangsbereich zur Nordsee auf, 6-8 PSU in der zentralen Ostsee und in den nördlichen Teilen nur noch etwa 2 PSU. Das durchmischte Oberflächenwasser weist

Schichtmächtigkeiten von ca. 25- 30 m im Arkonabecken auf. Die Mächtigkeit nimmt im östlichen Gotlandbecken auf 50- 60 m zu und unterliegt zeitlichen Schwankungen. Temperatur, Salzgehalt und Sauerstoffgehalt des Oberflächenwassers zeigen charakteristische Jahresgänge. In Abhängigkeit von Sonneneinstrahlung und Lufttemperatur weist der Jahresgang der Temperatur im Mittel Schwankungen von 15- 16°C, was vor allem Auswirkungen auf die Dichte des Oberflächenwassers hat. Der Salzgehalt des Oberflächenwassers wird bestimmt von der jahreszeitlich abhängigen Variabilität des Süßwasserzuflusses vom Festland, von Bildung und Schmelzen des Eises in den nördlichen Teilen der Ostsee und von Verdunstung und Niederschlag über der Ostsee. Im Bereich der zentralen Ostsee pendelt der Wert zwischen 0,2 und 0,8 PSU und weist somit nur geringe jahreszeitliche Schwankungen auf. Durch vertikale Durchmischung und horizontalem Austausch beeinflussen diese zeitlichen Schwankungen in Temperatur, Dichte und Salzgehalt tiefere Wasserschichten bis zur thermohalinen Sprungschicht. In der Beltsee und im Kattegat erreicht die jahreszeitliche Schwankung Werte von 3- 6 PSU, bedingt durch ihre Position im Übergangsbereich zur Nordsee (Matthäus 1996).

Der Jahresgang des Sauerstoffgehalts ist von der Temperatur des Wassers abhängig und weniger vom Salzgehalt. Da Wasser bei geringen Temperaturen eine höhere Sauerstofflöslichkeitskapazität als bei höheren, ist die Sauerstoffsättigung im Oberflächenwasser im Frühjahr am höchsten, auch bedingt durch die einsetzende Aktivität des pflanzlichen Planktons, was zu Sauerstoffübersättigungen zwischen 130- 160 % führen kann.

Es treten jedoch neben den charakteristischen Jahresgängen von Temperatur, Sauerstoffgehalt und Dichte, Schwankungen auf, die ihren Ursprung in den vorherrschenden Witterungsverhältnissen haben. So wird die durch Sonnenstrahlung aufgenommene Wärmeenergie innerhalb von wenigen Tagen, durch Angleichung der Dichte (aufgrund von Abkühlung der obersten Schicht in der Nacht), in tiefere Schichten transportiert und mit einer Verzögerung folgen Temperaturschwankungen im tieferen Wasser den Schwankungen der Lufttemperatur. Diese Schwankungen können z.B. im Arkonabecken Temperaturveränderungen im untersten Teil des Oberflächenwassers von bis zu 10° C hervorrufen. Im Kattegat und der Beltsee werden Veränderungen des Salzgehalts durch die Verschiebungen der Grenzflächen hervorgerufen. Kurzfristige Variationen in den Kenngrößen der Ozeanographie werden durch die Eigendynamik der Ostsee ausgelöst. So führen Eigenschwingung, interne Wellen, Wirbel und Auftriebsprozesse zu räumlich begrenzten, aber auch heftigen Fluktuationen in Temperatur und Dichte, z.B. durch Austauschprozesse zwischen Becken, wenn salzhaltiges wärmeres Wasser über eine Schwelle in ein Becken strömt und sich entsprechend seiner geringeren Dichte (Wärme) zwischen Bodenwasser (kalt, salzhaltig- dicht) und Zwischenwasser (kalt, salzarm- weniger dicht) einregelt.

## **7. Tiefenwasser**

In der Ostsee gibt es auch aufgrund der fehlenden Gezeitenströme eine nur geringe vertikale und horizontale Durchmischung. Die mit der Abkühlung des Wassers im Herbst einsetzende Konvektion des Oberflächenwassers reicht nur bis zur halinen Sprungschicht. Eisbedeckung in der nördlichen und östlichen Ostsee beeinträchtigen zusätzlich die vertikale Vermischung der Wassersäule. Das hat zur Folge, dass zwischen dem salzreichen aber sauerstoffarmen Tiefenwasser und dem gut durchmischten Oberflächenwasser kein Stoffaustausch stattfinden kann.

Weil die vertikale Zirkulation wegen der stabilen Schichtung stark eingeschränkt ist und die permanente Sprungschicht einen Austausch verhindert, ist das Tiefenwasser auf horizontalen Austausch angewiesen. Wie aber schon in vorangegangenen Kapiteln beschrieben wurde, ist ein horizontaler Austausch des Wassers durch die Beckenstruktur der Ostsee behindert. Das von Westen eindringende salzreiche und im Frühjahr auch sauerstoffreiche Tiefenwasser breitet sich über dem



Ostseeboden nach Osten aus. Die Geschwindigkeit wird dabei durch das Bodenrelief verzögert und auch Dichte und Menge des einströmenden Wassers beeinflussen die Verbreitungsgeschwindigkeit. Deshalb kann es mehrere Monate bis über ein Jahr dauern, bis einströmende Tiefenwasser aus der Beltsee Auswirkungen auf Tiefenwasser in der Zentralen Ostsee haben. Da Arkona- und Bornholmbecken nahe am Übergangsbereich von Nord- und Ostseewasser liegen, weist hier das Tiefenwasser Jahresschwänge von Temperatur, Salz- und Sauerstoffgehalten auf, die stark vom zufließenden Wasser aus dem Übergangsbereich beeinflusst werden. Die Tiefenwasser der zentralen Ostsee hingegen zeigt keine jahreszeitlich bedingten Veränderungen. Die Variationen im Tiefenwasser werden hier durch starke Salzwassereinträge geprägt, denen eine Periode mit stagnierenden Bedingungen folgt.

## **Literatur:**

Lozan, J., Lampe, R., Matthäus, W., Rachor, E., Rumohr, H. & von Westernhagen, H. (eds.) (1996): Warnsignale aus der Ostsee. Parey Buchverlag, Berlin, 385 p.

Matthäus, W.(1992): Der Wasseraustausch zwischen Nord- und Ostsee. In: Geographische Rundschau, Jahrgang 44, Heft 11, p. 626-631

Rheinheimer, G.(ed) (1996): Meereskunde der Ostsee. Springer Berlin, 334 p.

Helsinki Commission ( 2003): The Baltic Marine Environment 1999-2002. Baltic Sea Environment Proceedings No. 87. <http://www.helcom.fi/proceedings/bsep87err.html>

T. Seifert, F. Tauber, B. Kayser: 2001: "A high resolution spherical grid topography of the Baltic Sea – revised edition", Proceedings of the Baltic Sea Science Congress, Stockholm 25-29. November 2001 (to be published).

IOW (2003): Salzwassereintrich- Januar 2003: Dr. Rainer Feistel, Dr. Uli Lass, Dr. Günther Nausch, Institut für Ostseeforschung Warnemünde Januar 2003 <http://www.io-warnemuende.de>

Tarand, A., Kallaste, T. (ed)(1998): 6. Baltic Sea and the Estonian coast: potential impacts of climate variability and change of the dynamics, hydrography and related biology of the Baltic Sea. p. 97-108. In: Country Case Study on Climate Change Impacts and Adaptation Assessments in the Republic of Estonia. UNEP/GEF, Estonian Ministry of Environment, SEI-Tallinn. <http://www.seit.ee/download/Climate6pdf1.pdf>