

Gerhard Kortum

Meereskundliche Probleme der südlichen Ostsee

1 Einleitung

Polen und Deutschland sind benachbarte Anlieger der Ostsee. Ihre generalisierten Küstenlängen betragen 380 bzw. 470 km. Der südliche Küstenbereich der Ostsee gehört zum glazial bedingten Akkumulationsraum mit Lockermaterial, wenn auch die Küstentypen in morphologischer Hinsicht durchaus unterschiedlich sind und von den schleswig-holsteinischen Förden über die mecklenburgische Boddenlandschaft zur großräumigen Ausgleichsküste in Vor- und Hinterpommern reichen. Die Ostsee ist in geologischer Hinsicht ein sehr junges Meer; ebenso wie die Meereswelt verändert sich auch der Küstenverlauf.

Die Ostsee ist mit einer Fläche von 415 266 km² das größte Brackwassergebiet der Erde und rechnet formal zu den intrakontinentalen Mittelmeeren. Hieraus resultieren die ökologischen Hauptprobleme: Begrenzte Zugänge zum Ozean durch Meerengen erschweren den Wasseraustausch, auf die kritischen flachen Belte und den Sund folgt nach Osten eine Kette von Becken und Schwellen, die den vollmarinen Einfluss mit zunehmender Entfernung von der Nordsee und dem Skagerrak abschwächen. Die Durchschnittstiefe der Ostsee liegt bei 52 m, entscheidend für die wichtigen Prozesse der Wassererneuerung in den tiefen Becken der Ostsee sind hingegen die Zugangsschwellentiefen. Diese Satteltiefen liegen in der Darßer Schwelle bei nur 18 m und in der Drogden-Schwelle bei nur 7 m. Die Darßer Schwelle ist das wichtige Nadelöhr und in der ozeanographischen Nomenklatur die Grenze der „eigentlichen Ostsee“ (*Baltic Proper*) gegenüber dem westlich vorgelagerten Übergangsgebiet der Beltsee. Der Begriff „südliche Ostsee“ findet in einer natürlichen Gliederung der Ostsee keine Entsprechung, sondern nur gelegentlich in der Seewettervorhersage. Zur „südlichen Ostsee“ könnte man aber die Arkona-See westlich der Linie Bornholm – Odermündung (maximale Tiefe 53 m), das gesamte Bornholmbecken (max. 105 m Tiefe) und die zentrale Ostsee südlich von Gotland (58° nördl. Breite) mit dem Gotlandtief (249 m maximale Tiefe) rechnen. Die entsprechenden Satteltiefen zwischen diesen Becken liegen im Bornholmgat (45 m) und in der Stolper Schwelle (60 m). Die im vorliegenden Zusammenhang zu kennzeichnende „südliche Ostsee“ wird allerdings dem ausgedehnten zentralen Wasserkörper der Gotlandsee nicht gerecht und zerschneidet diese. In Bezug auf die seerechtliche Gliederung sind die dänischen, deutschen, polnischen, schwedischen (teilweise) und russischen (Bereich Königsberg/Oblast Kaliningrad) Wirtschaftszonen betroffen.

Bei einer geographischen Betrachtung des Ostseeraumes insgesamt ist dem Meeresgebiet gerade beim Beispiel dieses nahezu abgeschlossenen Nebenmeeres das hydrographische Einzugsgebiet zuzuordnen (vgl. Abb. 1). Dies gilt nicht nur für die Kennzeichnung der Ostsee durch Daten der Wasserbilanz, sondern in

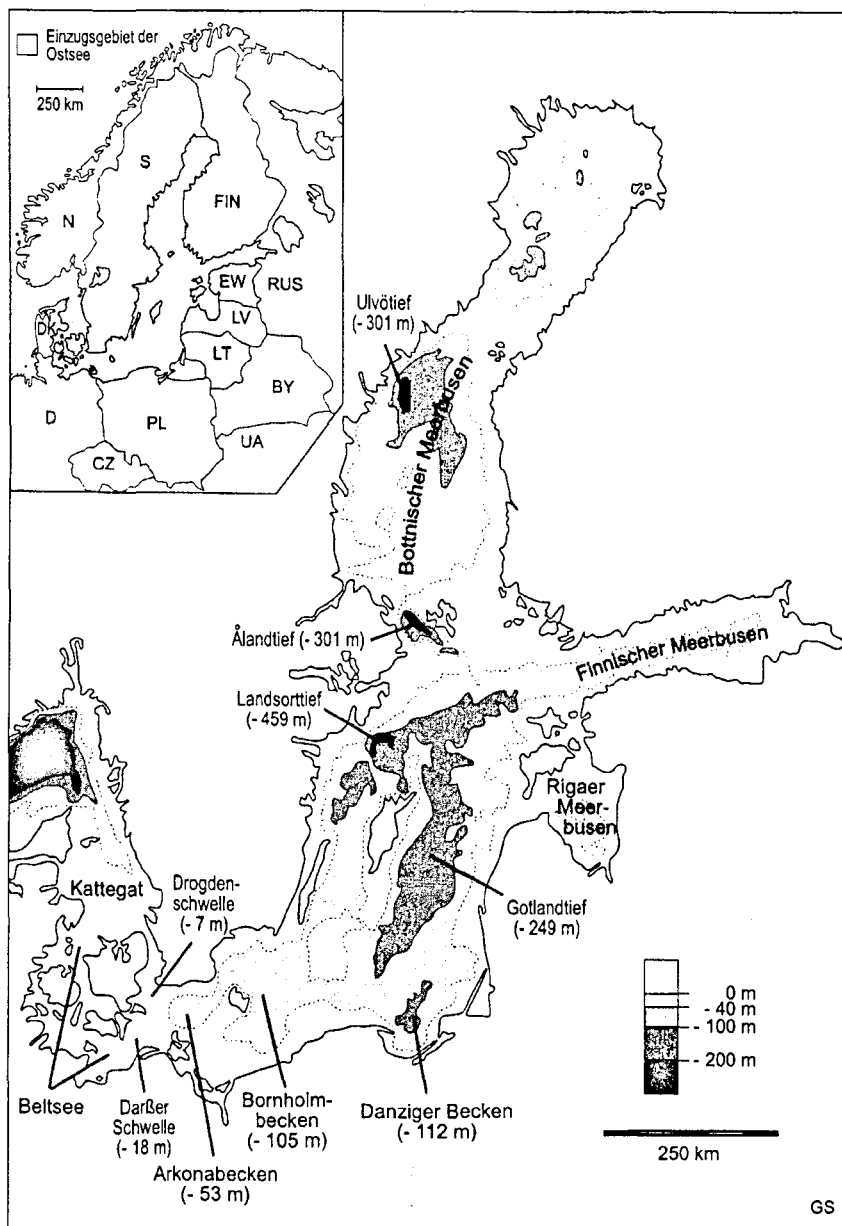


Abb. 1: Die Ostsee

besonderer Weise für das Verständnis der Umweltqualität, die durch die Nähr- und Schadstoffeinträge der Zuflüsse mitbedingt wird. Hiermit wird die besondere Rolle Polens für die südliche Ostsee deutlich: Die wichtigsten Flusssysteme der Oder und Weichsel entwässern nahezu das gesamte polnische Staatsgebiet mit rund 38 Mio. Einwohnern. Demgegenüber spielt das hydrographische Einzugsgebiet der Ostsee in Mecklenburg-Vorpommern und erst recht in Schleswig-Holstein mit nur rund 3 Mio. Einwohnern kaum eine Rolle.

Historisch gesehen können Mittelmeere die Gegengestade verbinden oder auch trennen, das zeigt ein Vergleich des Ostsee- mit dem Mittelmeergebiet in klarer Weise. Politischen Streit mit wirtschaftlicher Konkurrenz oder gutnachbarschaftliche Zusammenarbeit gibt es hierbei auch zwischen direkten Anliegnernachbarn. Auch unter traditionell befreundeten Staaten kommt es gegenwärtig in vielen Fällen zu seerechtlichen Streitfällen bei der Abgrenzung der Festlandssockelzone und maritimen Wirtschaftszonen. In der Pommerschen Bucht vor Swinemünde wurden diese bereits in sozialistischer Zeit zwischen der damaligen DDR und der Volksrepublik Polen vertraglich geregelt, wenn auch suboptimal hinsichtlich traditioneller Fischereirechte.

Die maritimen Bezüge der Geschichte im Verlauf der Jahrhunderte währenden Wechselbeziehungen im Wirtschaftsraum der Ostsee sind evident. Deutschland wurde immer ein mangelndes Verhältnis zur See vorgeworfen (abgesehen von der Flottenära der Kaiserzeit), noch mehr gilt dies vielleicht für Polen, das erst nach dem Versailler Vertrag mit dem „Korridor“ sein maritimes Fenster um Gdynia erlangte und dies sehr schnell und effektiv entwickelte. Nach dem Zweiten Weltkrieg erst kam dann die Gesamtlänge der Küste Pommerns bis Stettin zu Polen. Fischerei und Seewirtschaft mit mehreren Hafenstandorten entwickelten sich zunehmend im staatlichen Rahmen, ähnliches galt für die DDR. Die See bringt Handel und Wandel. Zur Zeit des Kalten Krieges trennte die Ostsee scharf die Macht- und Wirtschaftsblöcke, der Wandel um 1990 fügte den alten Ostseeraum schnell wieder zusammen, beschleunigt durch die Osterweiterung der Europäischen Union. Manche träumten vorschnell von einer „Neuen Hanse“ um das *Mare Balticum*.

Ein kurzer Überblick der Ostseeproblematik muss notwendigerweise unvollständig bleiben. Inzwischen gibt es mehrere kompetente und allgemeinverständlich gehaltene Übersichtsdarstellungen zur Meereskunde der Ostsee (vgl. Literaturverzeichnis, siehe auch im Internet, u.a. www.io-warnemuende.de und www.ifm-geomar.de). Das Thema ist auch schulisch relevant. So wird in Schulbüchern die Ostsee als „Mittelmeer des Nordens“¹ oder „als sterbendes Meer“² thematisiert.³

2 Kooperation in der Ostseeforschung

Meeresforschung verbindet die Völker. Alle großen marinen Forschungsprogramme sind international angelegt, das gilt gerade auch für den überschaubaren Ostseeraum mit seinen Sonderproblemen. Sowohl Polen als auch Deutschland betei-

1 GEOS, *Geographie Klasse 7*. Berlin: Volk und Wissen 1998.

2 Seydlitz *Mensch und Raum, Klasse 9*. Hannover: Schroedel 1999).

3 Vgl. auch den Beitrag von Georg Stöber in diesem Band.

ligten sich an den großen wissenschaftlichen Ostseeprogrammen im Rahmen der HELCOM (Helsinki-Kommission zur Bewahrung der Meeresumwelt der Ostsee, seit 1972) und neuerdings BALTIX (Baltic Sea Experiment) im Rahmen von GEWEX (Global Energy and Water Cycle Experiment) und WCRP (World Climate Research Programme). 1996–1999 wurde von Seiten der Europäischen Union das Projekt BASYS (Baltic Sea System Study, An European Regional Sea Research Project) finanziert. Das Koordinationsbüro war im Institut für Ostseeforschung in Warnemünde angesiedelt. An dem wissenschaftlichen Konsortium dieses 48 Institute in den Anliegerstaaten des Ostseeraumes zusammenfassenden Großprojekts beteiligten sich von polnischer Seite neben dem Institut für marine Wissenschaft der Universität Szczecin/Stettin das Institut für Ozeanologie der Akademie der Wissenschaften in Sopot/Zopot und andere Einrichtungen. Daneben gab es in der letzten Dekade einige deutsch-polnische Gemeinschaftsprojekte in der Oderbucht und im Bereich des Oder-Haffs, letztere insbesondere unter Gesichtspunkten des Umweltschutzes. Dennoch, die bilateralen Forschungsbeziehungen bezüglich der Meereswissenschaften könnten sicher intensiver gestaltet werden. Es gibt durchaus Fragen, die die südlichen Ostseeanlieger Deutschland und Polen besonders interessieren.

Die Meeresforschung im Ostseeraum ist international gut vernetzt. Bereits 1957 organisierten sich die Ozeanographen, 11 Jahre später wurde die Vereinigung Baltischer Meeresbiologen in Rostock gegründet. In beiden Organisationen arbeiten deutsche und polnische Wissenschaftler mit.

3 Das Ökosystem der Ostsee im Überblick

Am Kieler Leibniz-Institut für Meereswissenschaften (IFM-Geomar) wird ein aufwändiges dreidimensionales Modell der Ostsee mit einer horizontalen Auflösung von 5 km und 41 vertikalen Schichten betrieben. Mit diesem Meeresmodell können u.a. Untersuchungen der Wassermassenausbreitung und der Zirkulation in der Ostsee sowie Berechnungen des Energie- und Wasserhaushalts durchgeführt werden. Die Ostsee als Nebenmeer mit einer Fläche von 377 400 km² und einem Wasservolumen von nur 21 200 km³ ist zu klein, um ein eigenständiges Zirkulationssystem auszubilden. In der Wirklichkeit und auch in dem Modell sind die Antriebsfaktoren meteorologischer Natur. Hierbei sind besonders Wind, Luftdruck und Niederschlag von Bedeutung, ferner der Eintrag von Flusswasser in das System Ostsee. Es zeigt sich, dass besonders extreme Ereignisse („events“) die Meeresumwelt der Ostsee und ihre Variabilität charakterisieren. Dies gilt für den Zufluss beispielsweise des katastrophalen Oderhochwassers vor einigen Jahren, für die gelegentlichen Salzwassereinträge aus der Nordsee mit teilweiser Erneuerung des sauerstoffarmen Tiefenwassers in den Ostseebecken nach langandauernden sturmreichen Westwindwetterlagen oder auch für die küstennahen Auftriebserscheinungen. Auf die letztgenannten Ereignisse wird nach einer kurzen Kennzeichnung der allgemeinen Umweltverhältnisse der Ostsee näher eingegangen.

Die wissenschaftliche Erforschung der Ostsee als Ökosystem hat in den letzten 130 Jahren eine große Fülle exakter und vergleichbarer Messergebnisse ge-

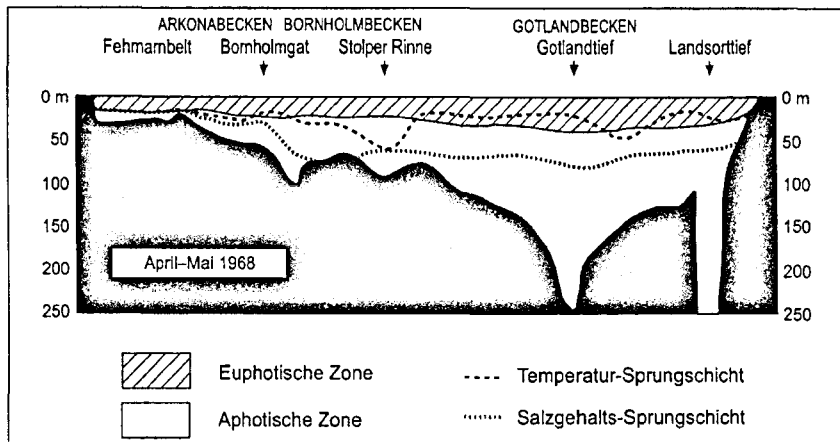


Abb. 2: Umweltfaktor Schichtung: Ostseeprofil mit schematisierten Schichtungsverhältnissen und Sprungschichten (nach MAGAARD/RHEINHEIMER 1974)

liefert. Anfangs gaben fischereiwirtschaftliche Fragen den Anstoß; hierfür waren Untersuchungen zur Primärproduktion und zur Verteilung der Nährstoffe in der Wassersäule notwendig. Die Ostsee ist relativ gut erforscht, dennoch ergibt sich immer wieder neuer Forschungsbedarf. Langzeitmonitoring bestimmter Parameter, auch aus dem meereschemischen und biologischen Bereich, kann durchaus säkulare oder dekadische Veränderungen der Umwelt ergeben. Wichtig sind die periodischen Bewertungsberichte zum Zustand der Ostseemwelt der Helsinki-Kommission. So wurde im Oberflächenwasser der zentralen Ostsee zwischen Polen, Gotland und dem Baltikum im Zeitraum von 1969–1988 zunächst über 10 Jahre eine Zunahme des Salzgehaltes um 0,5 pro mille festgestellt, in der folgenden Dekade nahm er um den gleichen Betrag wieder ab. Es ist schwer, natürliche Veränderungen und Schwankungen von anthropogen bedingten Zustandsänderungen zu trennen. Zu den direkten Messungen an bestimmten Punkten zu bestimmten Zeiten kommen in der Meeresüberwachung verstärkt die Analyse von Satellitenbildern und neuerdings Modellierungsverfahren, mit denen natürliche Vorgänge simuliert werden können. Modelle erlauben auch begrenzte Prognosen, wie neuere BALTEX-Unterlagen über den Klimawandel im Ostseegebiet zeigen.

Insbesondere Temperaturreihen und Salzgehaltsdaten sind in physikalischer Hinsicht wichtig, da sie die Dichte der Wassermassen und damit die Schichtung bedingen. Kälteres und insbesondere salzreicher Wasser hat eine höhere Dichte, ist folglich schwerer und sinkt ab zum Boden. Hieraus ergibt sich besonders im Sommer für die Ostsee eine ausgeprägte Schichtung der Wassersäule mit Sprungschichten für Temperatur und Salzgehalt, die einen freien Austausch in der Wassersäule oft unterbinden können. Diese sommerliche Schichtung ist typisch für die Ostsee. Mit winterlicher Abkühlung der weniger salzigen Oberflächenschicht kommt es schließlich wegen zunehmender Dichte zum Absinken und vollständigen Durchmischung der Wassersäule (Tiefenkonvektion).

In Abb. 2 werden die Schichtungsverhältnisse der südlichen Ostsee schematisch in einem hydrographischen Schnitt von der Kieler Bucht über den Fehmarnbelt, das Bornholmgat und die Stolper Rinne bis zum Gotlandtief dargestellt, wobei der mittlere Teil vor der Danziger Bucht liegt. Der Schnitt basiert auf einer von Kiel ausgehenden Ostseeuntersuchung im Frühjahr 1968 und ist in dieser generalisierten Form allgemein gültig. In der lichtdurchfluteten Euphotische Zone findet bei im Frühjahr in der Regel reich vorhandenen Nährstoffen die Planktonproduktion statt, das Tiefenwasser in der Aphotischen Zone neigt in den angedeuteten Ostseebecken zur Stagnation, weil dieser Bereich durch die sich im Frühjahr herausbildenden Temperatur- und Salzgehaltssprungschichten abgedeckt wird und keinen Austausch mehr mit Oberflächenschichten hat. Die Folge kann eine Sauerstoffarmut in den Tiefenbecken sein, die im Extremfall zum Absterben allen Lebens führt („Tote Zonen“). Auf den Jahresgang der Temperaturverhältnisse und seine Bedeutung für die Phytoplanktonentwicklung in der Oberflächenschicht kann hier nicht im Detail eingegangen werden.⁴

Das Ökosystem der Ostsee ist in physikalischer und besonders auch biologischer Hinsicht sehr komplex und sensibel. Alle Modelle sind grobe Vereinfachungen. Die Ostsee wurde bereits häufig als „sterbendes Meer“ gekennzeichnet, zumindest als „Patient“ mit einem spezifischen Krankheitsbild. Richtig ist, dass die natürliche Umwelt des Baltischen Meeres, in dessen Einzugsgebiet über 70 Mio. Menschen leben, besonders durch Einträge von Nähr- und Schadstoffen gefährdet ist. Geologisch gesehen ist die Ostsee ein sehr junges Meer; über verschiedene Entwicklungsstadien hat sie sich seit dem Abklingen der Weichselvereisung im Wechsel von mehr marinen und limnischen Phasen zum heutigen „Mya-Stadium“ (ab Subatlantikum 2000 v. Chr.) mit Brackwassercharakter entwickelt.⁵ Insofern ist die Ostsee bereits mehrmals gestorben und wiederentstanden, da sich die marinen Arten nur bedingt auf Salzgehaltsänderungen einstellen können. Zu dem osmotischen Stress im biologischen Teilsystem kommen die gerade für die Ostsee charakteristische Schwellen- und Beckenstruktur sowie die Einschränkung des Wasseraustausches mit dem offenen Ozean durch die dänischen Meerengen.

Wie kann ein Meer sterben? Durch technische Maßnahmen wie Brückenbauten, die den zur Wassererneuerung verfügbaren Querschnitt mindern, kann man das System physisch beeinträchtigen. Umweltschützer warnen vor einer Manipulation der Ostseezugänge, Modelle geben keine eindeutigen Antworten. Wenn man die Einschränkung des Strömungsquerschnittes im Sund, dem Großen Belt und (geplant) im Fehmarnbelt durch Baggerungen einer Rinne kompensiert (sog. „Null-Lösung“), verändert man auch die Möglichkeiten des Eindringens von sauerstoffreichem und salzhaltigem Nordseewasser in die Ostseebecken. Auch Überdüngung („Eutrophierung“, Eintrag von Phosphaten und Nitraten durch Flüsse) kann durch nachfolgende Sauerstoffzehrung zum Erstickungstod führen. Nimmt man das Bild vom „Patienten Ostsee“ auf, gibt es eine Diagnose und Therapie. Hier ist die Wissenschaft und die Zusammenarbeit aller Anliegerstaaten gefragt. Dieser Gedanke liegt der Tätigkeit der Helsinki-Kommission zur Bewahrung der Meeresumwelt der Ostsee letztlich zugrunde. Das System der Ostsee ist auch in

⁴ Vgl. hierzu den Beitrag von Andrzej Witkowski und Teresa Radziejewska in diesem Band.

⁵ Hierzu der Beitrag von Olaf Kühne in diesem Band.

der geologischen Gegenwart von Natur aus in besonderer Weise labil und schleichenden Veränderungen unterworfen.

4 Salzwassereinbrüche aus der Nordsee

Für das System Ostsee ist die gelegentliche Wassererneuerung des Tiefenwassers von großer Bedeutung. Wie bereits aufgeführt, erfolgt diese über nur zwei Schwellen mit sehr geringen Satteltiefen. Die Darßer Schwelle hat einen Querschnitt von nur 0,8 km² bei einer Tiefe von maximal 18 m. Die Drogden-Schwelle im südlichen Öresund hat einen Querschnitt von 0,1 km² bei 7 m Satteltiefe. Die Austauschvorgänge sind durch langjährige Beobachtungsreihen inzwischen gut bekannt. 73% des Wasseraustausches der Ostsee erfolgt über die auch navigatorisch für tiefgehende Schiffe problematische Enge zwischen der dänischen Insel Falster und dem Darß.

In der Deckschicht strömen hier im Durchschnitt pro Jahr 1 124 km³ Wasser aus der Ostsee aus und 494 km³ ein, in der Bodenschicht nur 84 km³ aus, aber 399 km³ ein (Gesamtvolumen der Ostsee 20 900 km³). Insgesamt gesehen hat die Ostsee eine positive Wasserbilanz: Würde man die Ostsee vollständig abdämmen, würde sich der Wasserstand um 125 cm pro Jahr erhöhen. Das Meeresgebiet erhält durch Flusswasser und Niederschlag abzüglich Verdunstung 475 km³ Süßwasser, dieser Betrag wird durch den Einstrom kompensiert. Der Wasseraustausch Ostsee-Nordsee wird durch eine komplizierte Wechselwirkung gesteuert. Hierbei spielen Wetterlage, Wasserstände, Strömungen und Schichtung der Wassermassen eine wichtige Rolle. Insbesondere die Witterungsverhältnisse bestimmen die Abfolge von Ein- und Ausstromlage im Jahresverlauf, wie auch systematische Kieler Untersuchungen zum großen Salzwassereinbruch im November und Dezember 1951 erstmals ergaben. Der Salzgehalt des Meeres wird gemeinhin in pro mille angegeben und beträgt für den offenen Atlantik etwa 35,00. Im offenen Ozean sind die Unterschiede sehr gering und präzise messbar. Sie bedingen die thermohaline Zirkulation und Schichtungsverhältnisse. In der eigentlichen Ostsee östlich der Darßer Schwelle nimmt der Salzgehalt an der Oberfläche von 7 auf 5 ab, im Bottnischen Mehrbusen sogar auf nur 3 pro mille. Dieser ausgedehnte Brackwasserbereich steht dem Übergangsbereich der salzgehaltsökologisch und osmotisch sehr instabilen Beltsee im Westen gegenüber. Hier wandern Fronten im Wasserkörper je nach Wetterlage hin und her. Schwereres Nordseewasser (30–34 pro mille) dringt bei Einstromereignissen vom Kattegat nach Osten. Es kommt zu ausgedehnten schräggestellten Sprungschichten von der Oberfläche bis zum Meeresboden, wobei das ausströmende brackige Ostseewasser eine am Boden durch die Belte vordringende Salzwasserzunge überlagert. In der Kieler und Mecklenburger Bucht schwankt der Salzgehalt an der Oberfläche sehr ausgeprägt mit der Folge von Ein- und Ausstromlagen zwischen 8 und 28 pro mille. Das Strömungsgeschehen ist im Detail sehr komplex. Der entscheidende Angelpunkt für die Ökologie der Ostsee insgesamt bleibt die Darßer Schwelle. Nur episodisch gelingt es dem schwereren salz- und sauerstoffreichen Nordseewasser, dieses morphologische Hindernis zu überströmen. Dann spricht man von einem Salzwassereinbruch. Im Mittel wechseln Ein- und Ausstromlagen an der Oberfläche der Beltsee je nach Wetterlage 60

mal pro Jahr. Die schnelle meteorologisch bedingte Umstellung ist im Übergangsbereich der westlichen Ostsee somit die Regel. Bei typischen Ausstromlagen im Winter werden sehr große Nettotransporte über die Darßer Schwelle bewegt. Bei ausgeprägten sommerlichen Ausstromlagen können salzarme Wassermassen aus der Ostsee an der Oberfläche bis weit ins Kattegat gelangen. Gleichzeitig fließt am Boden als Kompensationsströmung salzreiches Wasser durch Belte und Sund, wobei sich in der Kieler und Mecklenburger Bucht sowie bei anhaltenden Windstillen oder Ostwinden eine scharfe Sprungschicht bildet. Auch im Sommer kann es zu Salzwasserintrusionen über die Darßer Schwelle kommen, die aber wegen geringem Sauerstoffgehalt ökologisch wenig positive Wirkungen haben. Diese Ereignisse verstärken sogar das Sauerstoffdefizit in den tieferen Ostseebecken.

Winterliche Salzwassereinbrüche treten besonders zwischen September und Januar auf. Nach am Institut für Ostseeforschung in Warnemünde durchgeführten Langzeituntersuchungen führen Ereignisse zwischen Januar und April in der Regel zu einer bedeutenden Verbesserung der Sauerstoffverhältnisse im Tiefenwasser der Ostsee. Überblickt man die Zeit von 1897 bis 1977, stellt man fest, dass die Ereignisse häufig gruppiert stattfinden, so gab es in der Zeit von 1948 bis 1952 12 Salzwassereinbrüche und in den vier Jahren nach 1968 immerhin 10. Längere Phasen ohne Erneuerung des Ostseewassers gab es auch früher (1927–1930, 1956–1959), allerdings wurde ab Mitte der 70er Jahre eine Verringerung der Häufigkeit und Intensität der Einbrüche festgestellt. Bei dem bislang stärksten Einstrom von Nordseewasser im Herbst 1951 gelangten über 200 km³ mit einem hohen Salzgehalt von über 22,5 pro mille in die Ostseebecken. In neuerer Zeit scheinen die Stagnationsphasen länger anzudauern und das Ostseewasser etwas süßer zu werden, dieser Trend muss aber nicht dauerhaft sein.

Der letzte nennenswerte Salzwassereinbruch in die Ostsee fand vom 6.–28. Januar 1993 nach 16 Jahren Stagnation statt und wurde gut mit modernen Methoden dokumentiert und modelliert. Nach langandauernden Stürmen mit Windgeschwindigkeiten von 140 m/sec aus nordwestlicher Richtung wurde die Oberflächenschicht der Beltsee nach Osten gedrückt, wobei sich ein Wasserstandsgefälle von 20 cm gegenüber dem Kattegat aufbaute. Am 15. Januar passierte eine hochsaline Front mit Wassermassen von 16 pro mille Salzgehalt die Meßsysteme auf der Darßer Schwelle und zog schnell nach Osten. Höhepunkt dieses Einstromereignisses waren die Tage vom 26.–28. Januar. Die eindringenden Wassermassen hatten eine Temperatur von 3,6 °C und einen Salzgehalt von 22 pro mille. Insgesamt wurden 310 km³ Wasser über die Darßer Schwelle und durch die Sund-Schwelle gedrückt. Das salzhaltige Wasser strömte kaskadenförmig über diese Hindernisse und verteilte sich zunächst in den tieferen Schichten der Arkona-See. Hier wurden die 15 pro mille-Isohaline (Linie gleichen Salzgehalts) von 38 m auf nur noch 10 m Tiefe angehoben. Der Sauerstoffgehalt erhöhte sich erheblich. Erst Mitte Februar erreichte der Tiefeneinstrom das Bornholmbecken, wo noch bis zu 20 pro mille festgestellt wurden, und floss dann durch die 60 m tiefe Stolper Rinne in das Gotland-Becken.

Die ozeanographischen Austauschvorgänge im Bereich der kritischen Ostseezugänge werden weiter intensiv beobachtet. Es ist offen, wie weit sich die gegenwärtig diskutierte Klimaänderung mit der Tendenz zu extremen Witterungsver-

hältnissen und Erwärmung der Atmosphäre und der Meere auswirken werden. Salzwassereinträge könnten sich häufen und zur Verbesserung der Umwelt in der Ostsee beitragen.

5 Auftriebserscheinungen vor der polnischen Küste

Ein weiteres in der südlichen Ostsee häufig auftretendes meereskundliches Phänomen sei noch aufgeführt, da es vorzugsweise die Küste Polens betrifft, eine wissenschaftshistorische Dimension hat und gleichfalls durch die Atmosphäre gesteuert wird. In diesem Fall geht es nicht um winterliche atlantische Sturmtiefs, die sich auf die meereskundlichen Gegebenheiten der Ostsee auswirken, sondern um spätsommerliche Hochdruckwetterlagen über Osteuropa, die sich, einmal etabliert, länger halten können. Wiederum ergibt sich für den Meeresraum Ostsee eine Reaktion auf ein Klima- bzw. Wettersignal.

Am 23. August 1834 verließ der berühmte und vielseitige Naturforscher Alexander von Humboldt (1769–1859) Berlin, um im Gefolge des preußischen Königs nach Königsberg zu reisen. Man schiffte sich in Stettin auf einem russischen Dampfschiff ein. Am 29. August besuchte Humboldt den Astronomen F. W. Bessel und stellte mit ihm in der Königsberger Sternwarte Beobachtungen an Doppelsternen an. Am 2. September reiste Humboldt nach Danzig und von dort mit dem preußischen Dampfschiff „Friedrich Wilhelm“ zurück nach Stettin. Am 8. September war er wieder in Berlin. In dieser kurzen Zeit machte Humboldt einige wichtige Beobachtungen zur Meereskunde der Ostsee, die indes angesichts seiner vielfältigen anderen Interessen auf allen Gebieten der Naturwissenschaften bislang kaum beachtet wurden. Heute ist aber klar, dass Humboldt auch als Pionier der Meeresforschung angesehen werden muss. Diese Erkenntnis ergab sich aber aus seinen umfangreichen Messungen und Beobachtungen während seiner Reisen im Atlantischen und Pazifischen Ozean. Seine Ostseebeobachtungen hat er 1834 unter dem Titel „Bemerkungen über die Temperatur der Ostsee“ veröffentlicht. Wenige Jahre später findet sich bereits in einem verbreiteten „Physikalischen Wörterbuch“ unter dem Stichwort „Meer“ auch ein Hinweis auf Humboldts Beobachtungen:

„Die mittlere Temperatur der Ostsee im Sommer wird zwischen 15° bis 17,5° C angegeben, während man dann bei Kopenhagen 22° bis 23,7°, am Kattegat dagegen unter der Einwirkung des von der Nordsee eindringenden Wassers kaum 16,2° beobachtet. Die Ursache hierfür liegt darin, dass das mehr abgeschlossene Wasser solcher Binnenmeere durch den Einfluss der äußeren höheren Temperaturen schneller erwärmt wird, wie dies augenfällig aus den interessanten Beobachtungen hervorgeht, welche A. v. Humboldt im Sommer hierüber anstellte. Dieser fand am 24. August die Oberfläche der Ostsee bei Swinemünde = 23,2°, gegenüber Treptow = 20,3°, östlich der Landzunge von Hela = 22,3° und am Frischen Haff noch 21,8°. Das gleichzeitig beobachtete Sinken des Thermometers auf 12° bis 11,2° am Vorgebirge zwischen Leba und Rixhöft im Meridian von Gotland wagte dieser scharfsinnige Naturforscher selbst nicht zu erklären, und daher verdient dieses unerwartete Phänomen noch durch weitere Untersuchungen genauer ausgemittelt werden“ (MUNCKE 1837:1668–1669).

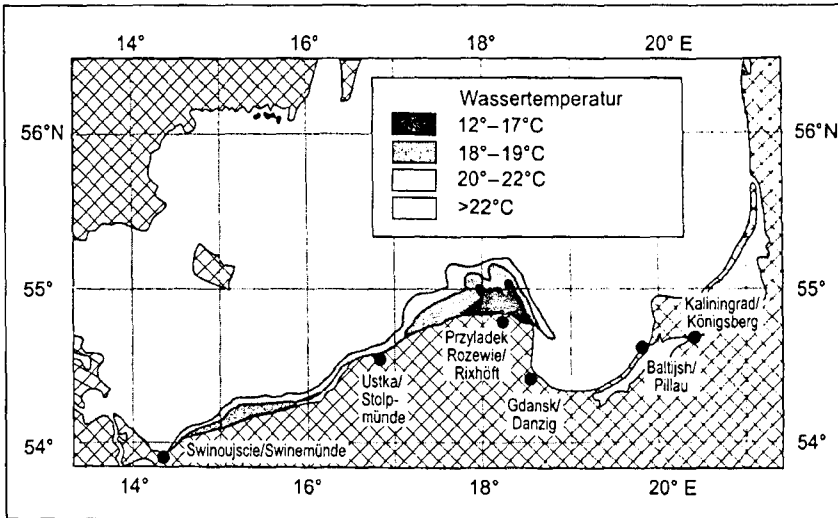


Abb. 3: Auftriebsphänomen vor der Halbinsel Hela im August 1997
(aus Kortum/Lehmann 1997)

Zweifellos ist Humboldt der erste gewesen, der ein küstennahes Auftriebsereignis in der Ostsee erfasst und vermessen hat. Seine Erklärung des Aufquellens von kaltem Tiefenwasser ist allerdings aus heutiger Sicht unvollkommen. Er macht Tiefenströmungen aus dem Sund oder dem hohen Norden der Ostsee hierfür verantwortlich. Generell hatte man damals große Probleme, Tiefentemperaturmessungen durchzuführen.

Durch Auftrieb bedingte Temperaturgegensätze sind an den Küsten der Ostsee ein häufig feststellbares Phänomen. Auftrieb erfolgt bei länger andauernden ablandigen und bisweilen auch küstenparallelen Winden. Innerhalb kurzer Zeit kann im Sommer die Wassertemperatur soweit sinken, dass Urlaubern die Lust am Baden vergeht. Kaltes Auftriebswasser findet sich vorübergehend und lokal an der gesamten Südküste der Ostsee, an der schwedischen Ostküste und auch vor dem Baltikum. Weht der Wind beständig und stark über den Wasserkörper, wird dieser an der Oberfläche verdriftet und durch kaltes, im Winter gebildetes Tiefenwasser ergänzt. Horizontale Temperaturgradienten von mehr als 10° wurden häufig beobachtet. Hierbei ist Voraussetzung, dass dieser Wasserkörper durch eine ausgeprägte Temperatursprungschicht gedeckelt wird.

Nach Humboldts Bericht lässt sich das Auftriebsgebiet recht genau lokalisieren. Eine Durchsicht von Satellitenbildern und Wochentemperaturmittelkarten der Ostsee zeigt, dass Auftriebsstreifen an der Küste Pommerns häufig vorkommen. Gelegentlich zeigt sich auch ein sehr ausgeprägtes Kaltwassergebiet vor der Halbinsel Hela, das seinen Kern bei Rixhöft hat (s. Abb. 3). In der Zeit vom 27.8.–2.9. 1997 war der etwas verzweigte Kaltwasserbereich mit Temperaturen unter 20°C fast 40 km breit, die kälteste Zelle lag bei nur 12°C . Dieses Auftriebsgebiet stimmt nicht nur in der Lage mit Humboldts Beobachtungen überein, sondern auch in

der Zeit des Auftretens (Abb. 3). Anhand meteorologischer Karten lässt sich die Wetterlage definieren, bei der es zum Auftrieb bei Hela kommen kann. Der August 1997 zeichnete sich durch ein ausgeprägtes Hochdrucksystem über Nord- und Osteuropa aus. Der gesamte Ostseeraum hatte andauernd hochsommerliches Wetter mit mäßigen Winden aus südöstlichen Richtungen.

Der Auftrieb vor Hela ist somit ein typisch lokales ozeanographisches Ereignis. Es ist bisher unklar, warum er sich gerade hier so intensiv ausbilden kann. Vielleicht hat der Südwind nach Überquerung der Danziger Bucht und Überströmung der Nehrung mehr Schub als weiter im Westen. Außerdem ist kaltes Tiefenwasser aufgrund der bathymetrischen Verhältnisse eher verfügbar als an anderen Abschnitten der polnischen Ostseeküste. Schließlich ist zu klären, warum das Phänomen bei ähnlichen Wetterlagen zur gleichen Jahreszeit nicht immer, sondern nur hin und wieder, dann aber sehr intensiv auftritt. Vielleicht gibt es noch bislang unbekanntes Bedingungen, die zur Auslösung dieses altüberlieferten „events“ mit auch wichtigen biologischen Folgen führen. Die weitere Untersuchung wäre sicher als Thema für ein deutsch-polnisches Forschungsprojekt von großem Interesse.

6 Zusammenfassung

Im Rahmen der geographischen Nachbarschaftsbezüge zwischen Deutschland und Polen kommt dem Thema Ostsee eine verbindende Funktion zu. Beide Länder teilen sich heute die Südküste des Baltischen Meeres und arbeiten in der Meeresforschung zusammen. Es gibt viele Gemeinschaftsinteressen aller Ostseeanliegerstaaten. Die meereskundlichen Verhältnisse der Ostsee ergeben sich im Südteil hauptsächlich aus den Austauschprozessen der „eigentlichen“ Ostsee östlich der Darßer Schwelle mit der Nordsee über die Beltsee. Salzgehaltseinbrüche bestimmen das System der Ostsee in physikalischer und auch biologisch-ökologischer Hinsicht. Sie werden letztlich durch besondere Wetterlagen ausgelöst wie auch markante Auftriebsprozesse vor der polnischen Ostseeküste. Die Probleme der Umweltbelastung der Ostsee durch Schadstoffeinträge aus dem hydrographischen Einzugsgebiet kann nur angedeutet werden, ebenso wie Folgen der Eutrophierung in Küstengewässern oder in der offenen See. Die Ostsee bleibt gemeinsames Anliegen ihrer Anlieger in Forschung und Nutzung.

Literatur

- BUCHWALD, K.; H. D. KNAPP und H. W. LOUIS: *Schutz der Meere. Ostsee und Boddenlandschaften*. Bonn 1996 (=Economica, Reihe Umweltschutz – Grundlagen und Praxis 6/II)
- FISCHER, P. und J. MARZINZIK: *Der Ostseeraum – Verkehr, Wirtschaft, Umwelt*. Berlin: Cornelsen 1995 (=Aktuelle Landkarte 42, 2/95)
- GERLACH, S. A. und G. KORTUM: Das Ökosystem der Ostsee und seine Gefährdung. *Geographische Rundschau* 44 (1992), H. 11, S. 639–646
- HELCOM (Hrsg.): *Second Periodic Assessment of the State of the Marine Environment of the Baltic Sea, 1984–1988*. Helsinki 1990 (=Baltic Sea Environment Proceedings No 35 A)
- HUPFER, P.: *Die Ostsee – kleines Meer mit großen Problemen*. Leipzig: Teubner 1984 (=Kleine Naturwissenschaftliche Bibliothek 40)



- JACOBS, D. und A. OMSTEDT: *BALTEX PHASE I, 1993–2002 – State of the Art Report*. Geesthacht 2005 (=International BALTEX Secretariat Publication Series No. 31)
- KORTUM, G. und A. LEHMANN: A. v. Humboldts Forschungsfahrt auf der Ostsee im Sommer 1834. Erstmalige Erfassung des küstennahen Auftriebs vor der Halbinsel Hela. *Schriften Naturwiss. Verein Schleswig–Holstein* 67 (1997), S. 45–58
- LEIDL, F.; K.-M. WEBER und U. WITTE: *Die Ostsee. Meeresnatur im ökologischen Notstand*. Göttingen: Die Werkstatt 1992
- LOZAN, J. L.; R. LAMPE; W. MATTHÄUS; E. RACHOR; H. RUMOHR und H. v. WESTERNHAGEN (Hrsg.): *Warnsignale aus der Ostsee. Wissenschaftliche Fakten*. Berlin: Parey 1996
- MAGAARD, L. und G. RHEINHEIMER (Hrsg.): *Meereskunde der Ostsee*. Berlin, Heidelberg, New York: Springer 1974 (Springer Hochschultext)
- MÄLKKI, P. und R. TAMSALU: *Physical Features of the Baltic Sea*. Helsinki 1985 (=Finnish Marine Research No. 252)
- MATTHÄUS, W.: Der Wasseraustausch zwischen Nord- und Ostsee. *Geographische Rundschau* 44 (1992), H. 11, 626–631
- MUNCKE, G. W.: Stichwort „Meer“. In: J. S. T. Gehler's *Physikalisches Wörterbuch*, 2. überarbeitete Ausgabe 1825–1845, Bd. 6. Leipzig: Schwickert 1837
- RHEINHEIMER, G. (Hrsg.): *Meereskunde der Ostsee*. 2. Auflage unter Mitwirkung von D. Nehring. Berlin, Heidelberg: Springer 1996
- WYRTKI, K.: Die Dynamik der Wasserbewegungen im Fehmarnbelt I und II. *Kieler Meeresforschungen* 9 (1953), S. 155–170 und 10 (1954), S. 162–181