

# Copyright ©

---

Es gilt deutsches Urheberrecht.

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

German copyright law applies.

The work or content may be downloaded, consumed, stored or printed for your own use but it may not be distributed via the internet or passed on to external parties without the formal permission of the copyright holders. It is prohibited to take money for copies or printed versions of the free online version.

## Ein Beitrag zum Problem der Erneuerung des Tiefenwassers im Arkona-Becken

VON GUNTHER KRAUSE

**Zusammenfassung:** Es werden die Ergebnisse von Temperatur- und Salzgehaltsmessungen auf einem hydrographischen Schnitt durch die westliche Ostsee im Januar 1968 im Hinblick auf Erneuerungsvorgänge im Tiefenwasser des Arkonabeckens diskutiert. Bei den Messungen wurde besonderer Wert auf hohes Auflösungsvermögen der Beobachtungen hinsichtlich der Tiefe (Meßwertabstand 40 cm), des Stationsabstandes (2 sm) und der Zeit (mittlere Schiffsgeschwindigkeit 7 kn) gelegt. Sie zeigen sowohl advective als auch konvektive Erneuerungsprozesse in sehr begrenzten räumlichen Ausdehnungen im Bereich des Tiefenwassers mit charakteristischen Dimensionen von 6 sm in der Horizontalen und 7 m in der Vertikalen. Man kann deshalb die Menge des erneuerten Tiefenwassers nicht alleine aus einer Bilanz des Ein- und Ausstroms im Fehmarnbelt erhalten. Um die für die Erneuerung maßgebenden Ausbreitungs-, Konvektions- und Vermischungsvorgänge zu erfassen sind außerdem sehr engabständige Messungen im Arkonabecken selbst notwendig.

**On the problem of renewal of deep-water in the Arkona-basin (Summary):** In January 1968 measurements of temperature and salinity in the western Baltic were carried out along a section from Bornholm to Kiel. The aim was to describe the effect of processes which govern the renewal of salty deep-water in the Arkona-Basin. In order to obtain a description of the water distribution with a high spatial resolution, a Bathysonde system was applied which had a sampling rate corresponding to a vertical distance of 40 cm, and a distance between stations of 2 nautical miles only was selected. To approximate synoptic conditions, a fast sequence of measurements was used.

The total number of data from 85 stations is presented on the temperature-salinity diagram of fig. 1, and the sections of temperature (fig. 2) and salinity (fig. 3) are based on all the data. From the TS-diagram it can be deduced that there are two essential processes for the renewal of the deep water: The inflow of cold water with high salinity from the Kiel Bay through the Fehmarnbelt and the cooling of surface water in the Arkona Basin. Because of the importance of the cooling in the basin demonstrated by the measurements, it can be stated that it is not sufficient for a determination of the amount of new water in this basin to measure the water budget at its western entrance. Additional observations of the distribution of temperature and salinity in the basin are necessary. The presented data indicate that the spatial scales of deep water masses generated by the two processes are typically as small as 6 nautical miles horizontally and 7 meters vertically.

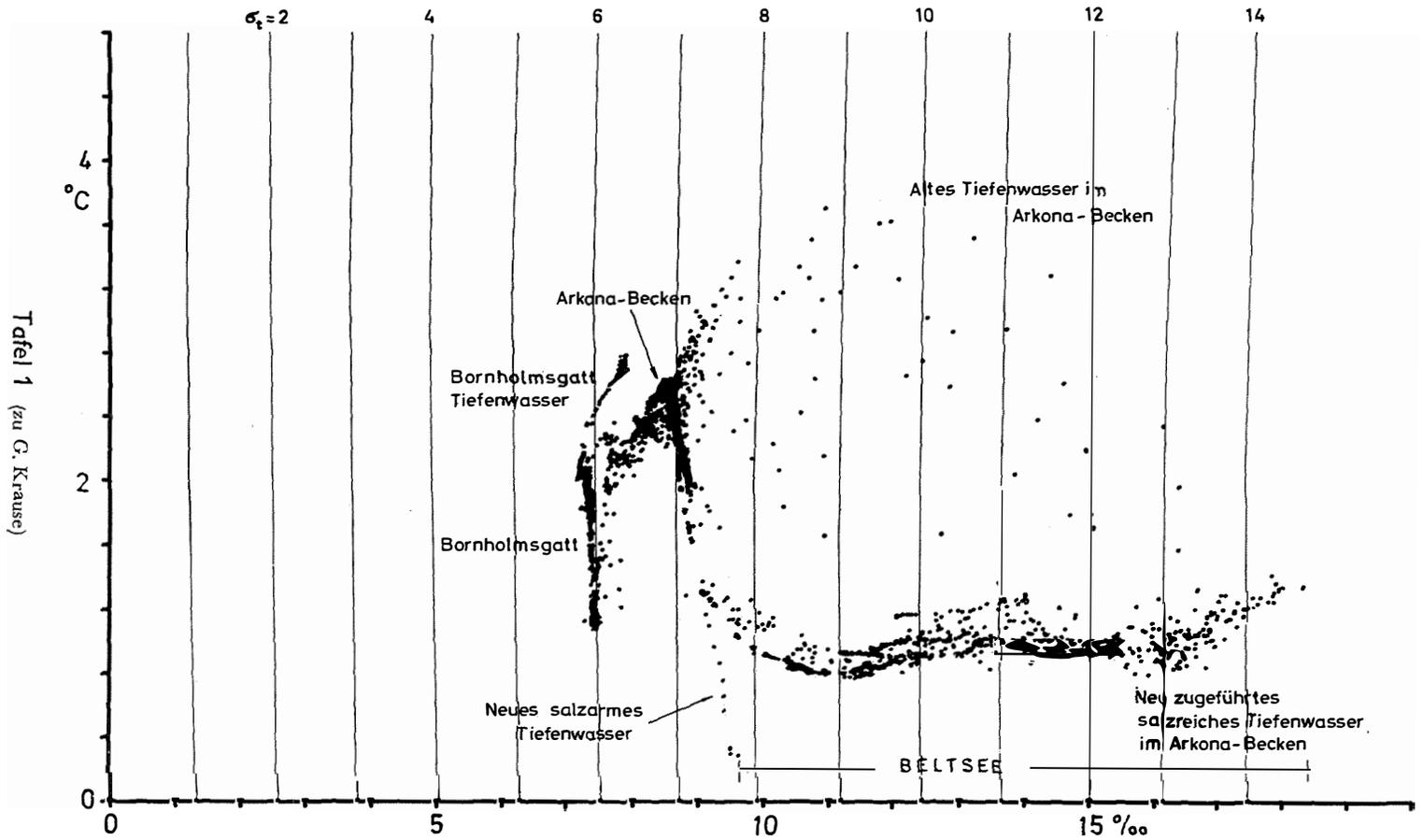
### Einleitung

Es ist bekannt, daß das Tiefenwasser im Arkona-Becken infolge der großen Stabilität und wegen des Fehlens stärkerer Stromscherungen in der Übergangszone nur sehr geringe Tendenz zur Vermischung mit dem darüberliegenden Ostseewasser zeigt. Als Folge dieser Gegebenheit hält sich einmal eingedrungenes, salzreiches Wasser normalerweise sehr lange Zeit in den Tiefen des Arkonabeckens auf und gehört damit zu seinen charakteristischen hydrographischen Merkmalen (G. DIETRICH, 1950). Vorgänge, die zu einer Erneuerung dieser Wassermassen führen, sind, besonders im Zusammenhang mit Fragen des Sauerstoffhaushalts des Tiefenwassers (S. H. FONSELIUS, 1962, 1967, 1969), Gegenstand zahlreicher Untersuchungen gewesen. Sie gehen fast ausschließlich von der Überlegung aus, daß eine Erneuerung nur durch den Einstrom noch dichteren Wassers durch den Fehmarnbelt möglich ist und beschäftigen sich deshalb mit der

---

Legende zu der nebenstehenden Abbildung (Tafel 1)

Abb. 1: Temperatur-Salzgehalt-Diagramm aus sämtlichen Beobachtungswerten von 85 Stationen.





Dynamik der Wasserbewegungen im Eingang des Arkonabeckens (z. B. K. WYRTKI, 1953, H. WATENBERG, 1949) und ihren meteorologischen Ursachen, z. B. mit Idealwetterlagen (H. WEIDEMANN, 1950) oder speziellen Wettersituationen (z. B. K. WYRTKI, 1954) als Voraussetzung für Ein- und Ausstromlagen. Besonders günstige Voraussetzungen für den Einstrom dichterem Wassers sind im Winter gegeben. Detaillierte Untersuchungen über die unmittelbare Wirkung solcher winterlicher Einstromlagen im Arkonabecken fehlen im bisherigen Beobachtungsmaterial, sie wurden meist aus viel späteren Messungen im Frühjahr oder Sommer abgeleitet (z. B. K. KALLE, 1943). Beobachtungen mit engabständigem Stationsabstand liegen ebenfalls nur aus Sommermonaten vor (z. B. HELA und W. KRAUSS, 1958). Auch in dieser Arbeit über die winterliche Schichtung in der Beltsee und im Arkonabecken kann kein direkter Zusammenhang zwischen Einstrom und hydrographischer Situation abgeleitet werden. Infolge der hohen Auflösung der Beobachtungsmethode zeigen aber ihre Ergebnisse interessante kleinräumige Auswirkungen zweier Typen von Erneuerungsprozessen, aus deren Dimensionen man ersehen kann, in welcher Weise Beobachtungen anzustellen sind, die die Erfassung der Ausbreitung und Vermischung neuen Tiefenwassers zum Ziel haben.

### Beobachtungsmaterial

Im Januar 1968 wurde mit dem Forschungsschiff „PLANET“ ein hydrographischer Schnitt vom Bornholmsgatt bis zum Leuchtturm Kiel durchgeführt. Die Messungen bestanden in der engabständigen Aufnahme von Temperatur und elektrischer Leitfähigkeit als Funktion der Tiefe bei sehr kleinem Stationsabstand.

Anfang der Messungen . . . . .	22. 1. 1968	23.28 GMT
	$\varphi = 55^{\circ}24'N$	$\lambda = 14^{\circ}43'E$
Ende der Messungen . . . . .	23. 1. 1968	23.20 GMT
	$\varphi = 54^{\circ}31'N$	$\lambda = 10^{\circ}19'E$
Länge des Schnittes . . . . .	160 sm	
Stationsabstand . . . . .	ca. 2 sm	
Meßwertabstand vertikal . . . . .	40 cm	
Mittlere Schiffsgeschwindigkeit einschl. Stationszeiten . . . . .	7 kn	
Zahl der Stationen . . . . .	85	

Als Meßgerät wurde eine Bathysonde mit auf Ostseeverhältnisse abgestimmten Leitfähigkeitsmeßbereichen benutzt.

Aus den gemessenen Werten für Temperatur, Leitfähigkeit und Druck wurden Salzgehalt und Dichte berechnet. Die Genauigkeit der Temperaturangaben beträgt  $\pm 0.05^{\circ}C$ , die der Salzgehaltswerte über  $12\text{‰}$  etwa  $\pm 0.10\text{‰}$  und unter dieser Grenze  $\pm 0.20\text{‰}$ . Die Genauigkeiten reichen für Messungen in diesem Seegebiet aus. Das Wesentliche des vorliegenden Beobachtungsmaterials besteht in dem hohen Auflösungsvermögen der benutzten Methode. Hinsichtlich des vertikalen Meßwertabstandes, der geringen Stationsabstände und der großen mittleren Schiffsgeschwindigkeit wurden Werte erhalten, die gute Voraussetzungen zur Charakterisierung der winterlichen Schichtungsverhältnisse der Ostsee darstellen. Auf eine Wiedergabe von Einzelbeobachtungen muß hier

---

#### Legende zu der nebenstehenden Abbildung (Tafel 2)

Abb. 2: Oben: Temperaturschnitt durch die Beltsee.

Unten: Fortsetzung des Schnittes durch das Arkonabecken.

verzichtet werden, die Ergebnisse sind in hydrographischen Schnitten und in einem TS-Diagramm dargestellt.

### Diskussion

Zur Identifizierung der gefundenen Wasserarten wurden alle Beobachtungswerte in ein TS-Diagramm eingetragen (Abb. 1). Das Ostseebecken stellt zwar kein abgeschlossenes System dar, die Benutzung der TS-Beziehung ist hier wegen der sehr kurzen Beobachtungsdauer aber sicher gerechtfertigt. Die Werte im Bereich der Kieler Bucht bis zur Darßer-Schwelle führen zu einer waagerechten Anordnung im TS-Diagramm. Der Salzgehalt (Abb. 3) ist hier der maßgebende Faktor. Hinsichtlich der Temperatur sind dagegen, verursacht durch Konvektion während der Verweilzeit in den Gebieten geringer Wassertiefe, nur sehr geringe Unterschiede zu beobachten. Im Temperaturschnitt der Beltsee (Abb. 2 oben) wurde deshalb für den Isothermenabstand  $0.1^{\circ}\text{C}$  gewählt.

Die Werte aus dem östlichen Teil des Schnittes führen dagegen mit Ausnahme derjenigen aus der Bodenschicht zu überwiegend senkrechten Strukturen im TS-Diagramm, die nahezu parallel zu den Dichtelinien verlaufen und damit geringe Stabilität dieser Wassermassen anzeigen. Die Temperaturen (Abb. 2 unten) liegen infolge des größeren abzukühlenden Volumens des tieferen Beckens um mehr als  $1^{\circ}\text{C}$  höher als die der Beltsee, wobei der Temperaturanstieg unmittelbar vor dem Übergang in das Arkonabecken stattfindet. Im Salzgehalt (Abb. 3) herrscht östlich von Kap Arkona weitgehende Homogenität.

Die Zufuhr von salzreichem Wasser in das Arkonabecken wirkt sich unmittelbar nur in einer dünnen Bodenschicht aus. Aus dem Temperaturschnitt (Abb. 2 unten) und dem Salzgehaltsschnitt (Abb. 3 unten) sieht man als Ergebnis eines Einstromprozesses kaltes, salzreiches Wasser in der Umgebung der Station 46. Daß es sich dabei tatsächlich um Wasser aus der Beltsee handelt wird durch die Lage der Meßwerte im TS-Diagramm (Abb. 1) bewiesen. Dieses Wasser hoher Dichte hat sich unter das vorher am Boden liegende wärmere Wasser geschoben, ohne sich wesentlich mit dem älteren Wasser zu vermischen, was aus Abb. 2 deutlich zu erkennen ist.

Das noch kältere Wasser in der Umgebung der Station 40 stammt jedoch nicht aus der Beltsee, sondern muß wegen des geringen Salzgehaltes seinen Ursprung im Arkonabecken selbst haben. Die Lage dieses salzarmen und sehr kalten Wassers ist ebenfalls im TS-Diagramm (Abb. 1) gekennzeichnet.

Im östlichen Teil des Arkonabeckens sowie im Bornholmsgatt liegt am Boden warmes, salzreiches Wasser, das von länger zurückliegenden Einstromlagen herrührt. Diese Tatsache wird durch die große Streuung der Werte im TS-Diagramm (Abb. 1) bestätigt, die anzeigt, daß keine „Verwandtschaft“ mit den im Winter angetroffenen Wassermassen besteht.

Das vorliegende Beobachtungsmaterial zeigt also vier wesentliche, zum Teil schon bekannte Merkmale der winterlichen Erneuerungsvorgänge im Arkonabecken:

1. Es gibt zwei verschiedene physikalische Ursachen, die zu einer Erneuerung des Tiefenwassers führen, das Eindringen salzreichen Wassers aus der Beltsee und die lokale extreme Abkühlung von Ostseewasser, vermutlich an den Berandungen des Arkona-Beckens.

---

#### Legende zu der nebenstehenden Abbildung (Tafel 3)

Abb. 3: Oben: Salzgehaltsschnitt durch die Beltsee.

Unten: Fortsetzung des Schnittes durch das Arkonabecken.



2. Das Eindringen des Beltseewassers erfolgt jeweils in relativ kleinen Mengen, die zu horizontal und vertikal sehr begrenzten erneuerten Wassermassen führen. So beträgt die Ausdehnung des Beltseewassers in der Umgebung der Station 46 nur 6 sm in Schnittrichtung und nur 7 m in der Vertikalen.
3. Im Falle, daß extrem abgekühltes Ostseewasser das alte Tiefenwasser im Arkona-Becken ersetzt, entstehen ebenfalls erneuerte Wassermassen mit sehr kleinen räumlichen Abmessungen. In der Umgebung von Station 40 ergeben sich ca. 4.5 sm in Schnittrichtung und 6 m in der Vertikalen.
4. Im ersten Stadium der Ausbreitung eingeströmten Wassers findet nur eine sehr unvollkommene Vermischung mit dem vorhandenen Tiefenwasser statt.

Aus diesen Feststellungen geht deutlich hervor, daß es nicht genügt, nur die Ein- und Ausstrombilanz im Fehmarnbelt zu betrachten, um richtige Aussagen über die Erneuerung des Tiefenwassers im Arkona-Becken zu erhalten. Um neben den Ausbreitungs- und Vermischungsvorgängen des eingeströmten Wassers auch die Erneuerungsprozesse mitzuerfassen, die altes Tiefenwasser durch Ostseewasser ersetzen, sind vielmehr engabständige Messungen im Arkona-Becken selbst notwendig, wobei der Abstand der Beobachtungsstationen 1 sm und der Meßwertabstand in der Vertikalen 50 cm nicht wesentlich übersteigen dürfen.

Vergleicht man die angetroffene recht übersichtliche hydrographische Situation mit den komplizierten Verhältnissen der sommerlichen Schichtung (G. WÜST und W. BROGMUS, 1955, I. HELA und W. KRAUSS, 1958, G. SIEDLER, 1961), so ist besonders darauf hinzuweisen, daß der Winter die geeignetste Jahreszeit für die Erfassung der Erneuerung des Tiefenwassers im Arkona-Becken darstellt.

Kapitän und Besatzung des Forschungsschiffes „Planet“ ist es zu danken, daß eine sehr schnelle hydrographische Aufnahme eines Seegebiets möglich wurde. Ihnen sei auch an dieser Stelle herzlich gedankt. Die Untersuchungen wurden unterstützt durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft, Bad Godesberg.

#### Literaturverzeichnis

DIETRICH, G. (1950): Die natürlichen Regionen von Nord- und Ostsee auf hydrographischer Grundlage. Kieler Meeresforsch. 7 (2), 35—69.— FONSELIUS, S. H. (1962): Hydrography of the Baltic Deep Basins. Fishery Board of Sweden. Series Hydrography, Report No. 13. — FONSELIUS, S. H. (1967): Hydrography of the Baltic Deep Basins II. Fishery Board of Sweden. Series Hydrography, Report No. 20. — FONSELIUS, S. H. (1969): Hydrography of the Baltic Deep Basins III. Fishery Board of Sweden. Series Hydrography, Report No. 23. — HELA, I. und W. KRAUSS (1958): Zum Problem der starken Veränderlichkeit der Schichtungsverhältnisse im Arkona-Becken. Kieler Meeresforsch. 15 (2), 125—143. — KALLE, K. (1943): Die große Wasserumschichtung im Gotlandtief vom Jahre 1933/34. Ann. Hydr. 1943. — SIEDLER, G. (1961): Über die kurzfristige Veränderlichkeit von Temperatur- und Salzgehaltschichtung in der östlichen und mittleren Ostsee im Sommer 1960. Kieler Meeresforsch. 17 (2), 148—153. — WATTENBERG, H. (1949): Die Salzgehaltsverteilung in der Kieler Bucht und ihre Abhängigkeit von Strom- und Wetterlage. Kieler Meeresforsch. 6 (1), 17—30. — WEIDEMANN, H. (1950): Untersuchungen über periodische und unperiodische hydrographische Vorgänge in der Beltsee. Kieler Meeresforsch. 7 (2), 70—85.— Wüst, G. und W. Brogmus (1955): Ozeanographische Ergebnisse einer Untersuchungsfahrt mit dem Forschungskutter „Südfall“ durch die Ostsee Juni/Juli 1954 (anlässlich der totalen Sonnenfinsternis auf Öland). Kieler Meeresforsch. 11 (1), 3—21. — WYRTKI, K. (1953): Dynamik der Wasserbewegungen im Fehmarnbelt I. Kieler Meeresforsch. 9 (2), 155—170. — WYRTKI, K. (1954): Der große Salzeinbruch in die Ostsee im November und Dezember 1951. Kieler Meeresforsch. 10 (1), 19—25.