

# 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 Urheberrechtinhabers. 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.

## Der große Salzeinbruch in die Ostsee im November und Dezember 1951

Von Klaus WYRTKI

In einzelnen Jahren erfolgen unter dem Einfluß besonderer Wetterlagen und hydrographischer Situationen größere Einbrüche von ozeanischem Wasser in die Ostsee. Dieses in größerer Menge als normal einströmende salzreiche und sauerstoffreiche Wasser führt zu einer Erneuerung des Bodenwassers, zu einer stärkeren Durchlüftung der Tiefenschichten und nach längerer Zeit unter dem Einfluß der Vermischung auch zu einer Erhöhung des mittleren Salzgehaltes der Ostsee. Am Beispiel des im November und Dezember 1951 erfolgten Einbruches großer Mengen salzreichen Wassers, auf den bereits THOMSEN (1952) hingewiesen hat, soll eine Klärung der Bedingungen solcher Vorgänge, eine Analyse ihrer Dynamik und eine Abschätzung der in diesem Fall erfolgten Wasserumsetzungen versucht werden.

Das Beobachtungsmaterial ist in der Hauptsache durch die im Nautisk-Meteorologisk Arbog veröffentlichten dänischen Feuerschiffsbeobachtungen gegeben. Weiterhin sind die vom Deutschen Hydrographischen Institut auf den deutschen Feuerschiffen durchgeführten Beobachtungen sowie die mir vom Dänischen Meteorologischen Institut überlassenen stündlichen Aufzeichnungen der Pegel Gedser und Korsör verwendet worden. Die meteorologischen Angaben sind aus den täglichen Wetterberichten des Meteorologischen Amtes für Nordwestdeutschland entnommen.

Mitte November 1951 bahnt sich nach einer längeren Periode mit stärkeren Südost- und Ostwinden der Übergang zu einem mehr zonalen Zirkulationstyp über Nordwesteuropa an. Dieser führt zunächst zu einer starken Südströmung über den dänischen Inseln, bis sich am 22. 11. 51 eine anhaltende Westlage über dem Nordatlantischen Ozean durchsetzt, die zu Winden bis Stärke 10 über dem Kattegat und der Beltsee führt. In deren Verlauf wandern die Ausläufer und Fronten von Tiefdruckgebieten, deren Zugstraßen in Abb. 1 auf Taf. 12 dargestellt sind, über die Eingänge der Ostsee hinweg und führen zu kräftigem Einstrom. Dabei wird die Beltseefront — die Grenze zwischen dem Ostseewasser und dem Mischwasser des Kattegat — bis über die Drogden- und Darsser Schwelle in die Ostsee zurückgedrängt und es dringt Wasser bis zu  $25\text{‰}$  Salzgehalt bei Gedser und bis zu  $30\text{‰}$  bei Drogden in größeren Mengen in die Ostsee ein. Das Ergebnis dieses Salzeinbruches zeigt Abb. 2, Taf. 12 an Hand der Beobachtungen des Salzgehaltes im Bornholm-Tief. In dieser Darstellung ist außer der Vertikalkurve des Salzgehaltes vom 29. 12. 51, also nach Beendigung des Salzeinbruches, die Gesamtschwankung des Salzgehaltes im Bornholm-Tief in den Jahren 1949—1951 dargestellt. Man erkennt, daß nicht nur die Sprungschicht 10 m höher liegt, als dies bisher maximal der Fall war, sondern auch das Bodenwasser selbst mit  $21,5\text{‰}$  um  $3\text{‰}$  salzreicher ist als das salzreichste in den drei vorangegangenen Jahren beobachtete Wasser. Die hier dargestellte Gesamtschwankung des Salzgehaltes ließe sich noch durch Verwendung der seit 1902 in diesem Gebiet gewonnenen hydrographischen Stationen vervollständigen. Wie jedoch eine Isoplethendarstellung des Salzgehaltes im Bornholm-Tief von 1902 bis 1934 von JENSEN (1937) zeigt, ist der maximal beobachtete Salzgehalt kleiner als  $18\text{‰}$ , und die  $15\text{‰}$ -Isohaline reicht maximal bis 65 m hoch.

Um eine umfassende Vorstellung von den hydrographischen Vorgängen während dieser Einstromlage zu bekommen, ist es notwendig, einerseits das Vordringen des salzreichen Wassers durch das Kattegat und die Beltsee zu verfolgen, andererseits die zeitliche Veränderung der hydrographischen Faktoren an bestimmten Stellen, insbeson-

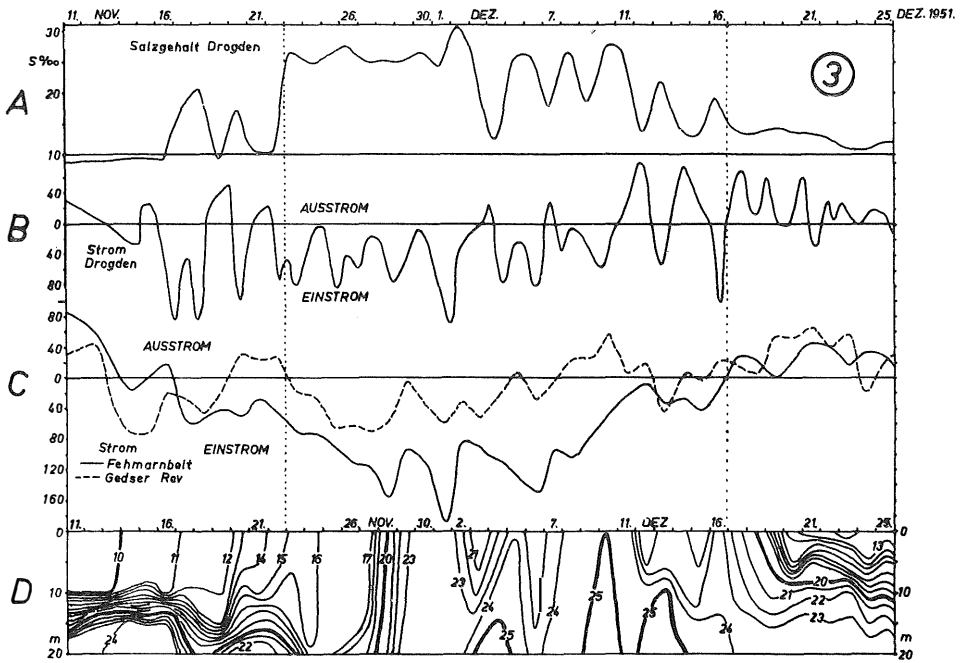
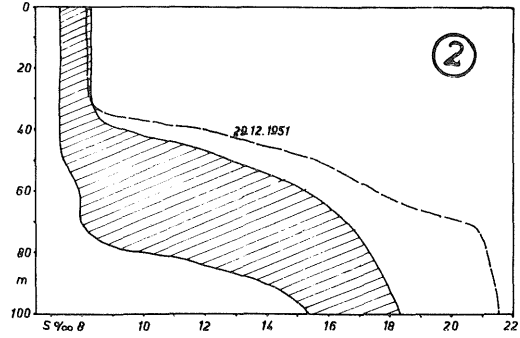
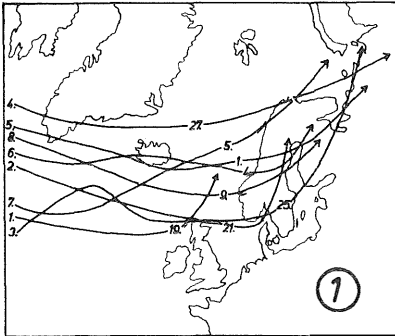
dere an den Eingängen zur Ostsee — Station Drogden und Gedser Rev — darzustellen. Das Vordringen des salzreichen Wassers an der Oberfläche läßt sich auf Grund der in Tafel 14 gegebenen Karten des Oberflächensalzgehaltes verfolgen. Eine Darstellung der Verhältnisse in der Tiefe an verschiedenen Tagen ist durch 8 Längsschnitte des Salzgehaltes von Skagens Rev bis Gedser Rev Feuerschiff gegeben (Taf. 13). Die Lage des Schnittes, der durch den Großen Belt und den Fehmarnbelt verläuft, ist in Taf. 14 (Karte vom 2. 12.) eingetragen. Der zeitliche Verlauf des Salzgehaltes und des Oberflächenstromes für die beiden Stationen Gedser Rev und Drogden, die unmittelbar an der hydrographischen Grenze der Ostsee liegen, ist in Abb. 3 Taf. 12 gegeben. Die Betrachtung gerade dieser beiden Stationen ist insofern wichtig, als alles Wasser großer Dichte, das die Drogden- und Darsser-Schwelle nach Osten passiert, jenseits dieser Schwellen absinkt und das Bodenwasser im Arkona- und Bornholm-Becken bildet.

Die Ausgangslage wird durch das Ende einer längeren Ausstromperiode unter dem Einfluß von Südost- und Ostwinden gebildet. Sie ist in der Karte des Oberflächen-salzgehaltes und des Längsschnittes des Salzgehaltes vom 16. 11. 51 dargestellt (Taf. 13 u. 14). Die Beltseefront ist durch die kräftigen Winde mehr oder weniger aufgelöst und liegt an den Nordausgängen der Belte und des Sundes. Die 20<sup>0/00</sup>-Isohaline ist weit in das Kattegat nach Norden vorgeschoben. Die Skagerrakfront lagert nördlich des Feuerschiffes Skagens Rev. Im Kattegat bis hinein in den Samsö-Belt befindet sich unterhalb 15 m — wo im Mittel die Sprungschicht liegt — salzreiches Wasser zwischen 30 und 34<sup>0/00</sup>. Die Bodenschichten unterhalb 25 m sind dabei ausnahmslos mit Wasser über 34<sup>0/00</sup> angefüllt, was man als außergewöhnlich bezeichnen muß. Eine ebensolche Ansammlung von Wasser über 34<sup>0/00</sup> in der Tiefe des Kattegats wird von KÄNDLER (1951) bei der Bearbeitung des Vorstoßes von Nordseewasser im Frühjahr 1937 festgestellt. Mischwasser des Kattegats (Salzgehalt zwischen 24 und 26<sup>0/00</sup>) ist durch den Großen Belt nach Süden vorgestoßen und bildet im Fehmarnbelt das Bodenwasser. Dieses Wasser ist in den Längsschnitten der Taf. 13 durch Schraffieren gekennzeichnet, da es später das Wasser mit dem höchsten Salzgehalt ist, das bei Gedser in die Ostsee eindringt. Die Ausgangslage bei Beginn des Einstromes ist demnach durch eine, wenn auch nicht sehr große positive Salzgehaltsanomalie in den tieferen Schichten des Kattegats gekennzeichnet.

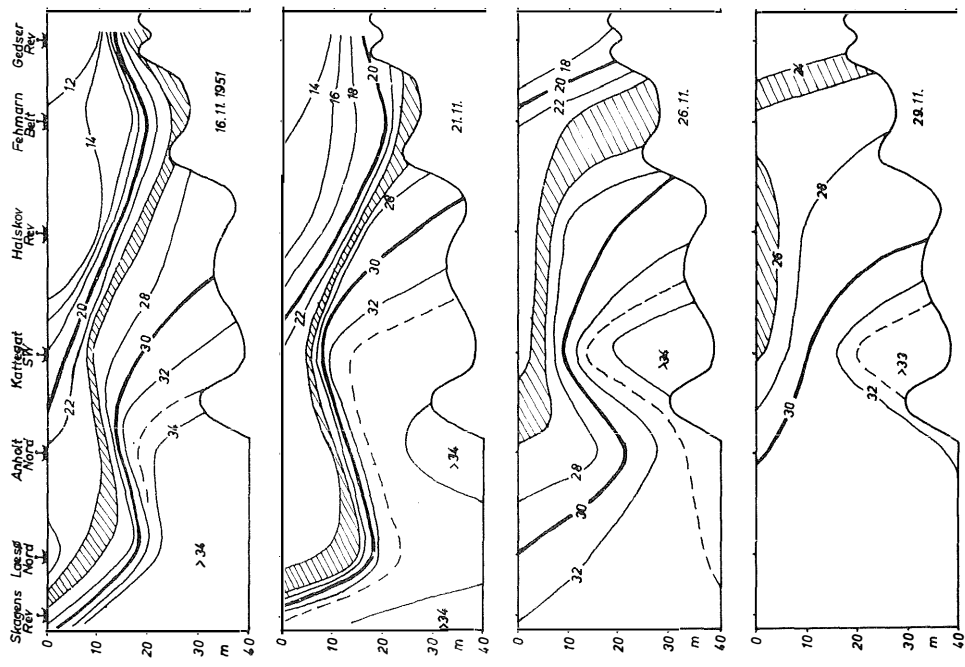
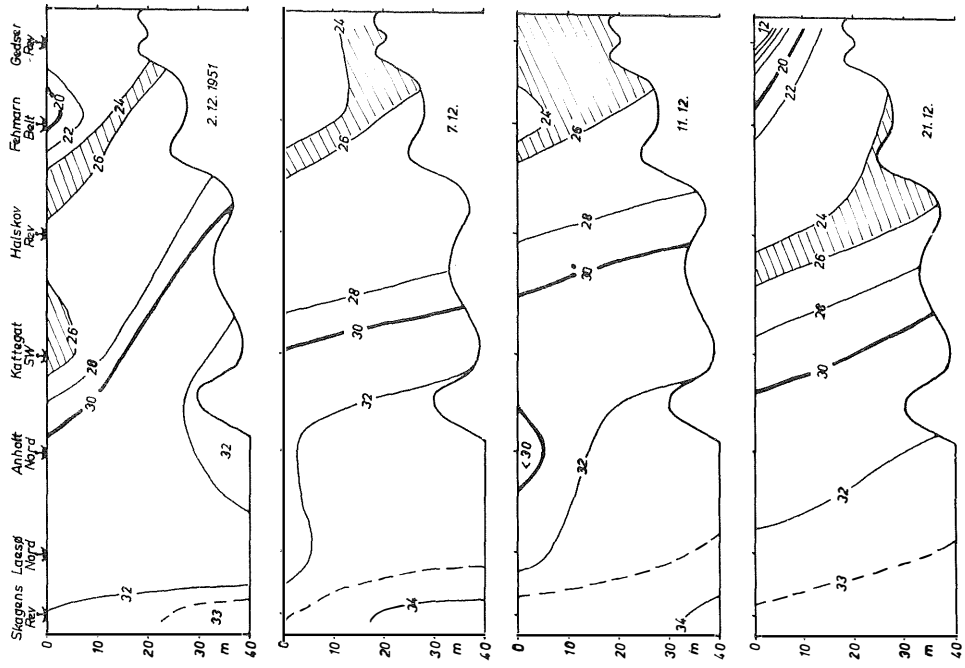
In der Zeit vom 16.—21. 11. kommt bei starken Südwinden der Ausstrom zum Stillstand, es erfolgt sogar ein Einstrom, da der Wasserstand in der Ostsee selbst sehr niedrig ist. Im Kattegat allerdings wird das leichte Oberflächenwasser nach Norden gedrängt (vgl. Taf. 13, 21. 11.). Dabei stößt in der Tiefe das salzreiche Wasser nach Süden vor, was an dem Abtrennen eines Wasserkörpers von über 34<sup>0/00</sup> und einem Vorstoß der 30<sup>0/00</sup>-Isohaline durch den Großen Belt zu erkennen ist. Die am 21. 11. einsetzenden starken Südwest- und Westwinde verursachen im ganzen Gebiet starken Einstrom in die Ostsee in allen Tiefen. Schon am 22. 11. passiert die Beltseefront die Drogden-Schwelle (Abb. 3) und der Salzgehalt steigt bei Drogden von 10<sup>0/00</sup> auf über 25<sup>0/00</sup>.

#### Legende zu den nebenstehenden Abbildungen (Taf. 12)

- Abb. 1: Zugbahnen der Kerne von Tiefdruckgebieten über dem Nordwesteuropäischen Raum in der Zeit vom 19. 11.—9. 12. 1951 mit Angabe des Datums und der Lage, von der aus sie für die Beltsee wetterwirksam waren.
- Abb. 2: Vertikale Verteilung des Salzgehalts im Bornholm-Tief am 29. 12. 1951 — — — —, sowie seine Gesamtschwankungen in den Jahren 1949—1951.
- Abb. 3: A Oberflächensalzgehalt bei Drogden  
 B Oberflächenstrom bei Drogden  
 C Oberflächenstrom (Tagesmittelwerte) bei den Feuerschiffen Fehmarnbelt ————— und Gedser Rev — — — — —  
 D Isoplethen des Salzgehaltes bei Feuerschiff Gedser Rev für den Zeitraum vom 11. 11.—25. 12. 1951.



Tafel 12



Tafel 13

Das Vordringen der Front durch die Belte geht langsamer vor sich, am 26. 11. (Taf. 13) hat sie jedoch Feuerschiff Fehmarnbelt nach Osten passiert. Die Skagerrakfront ist bis in das mittlere Kattegat vorgedrungen, die Belte sind mit Kattegat-Wasser angefüllt. Bemerkenswert ist vor allem das weitere Vordringen des Wasserkörpers mit über  $34\text{‰}$  am Boden in den Samsö-Belt (Taf. 13).

Die bis zum 25. 11. über den dänischen Inseln wetterwirksamen Tiefdruckgebiete haben alle eine relativ südliche Zugbahn. Die beiden letzten ziehen über die nördliche Nordsee und das Skagerrak. Die folgende Serie von Tiefdruckgebieten nimmt einen nördlicheren Weg über Island und Norwegen in die Barentsee (Abb. 1, Taf. 12). Das erste Tief dieser Serie greift am 27. 11. mit seinen Ausläufern auf die Beltsee über. Die daran anschließenden Tiefdruckgebiete verursachen mit schweren Stürmen das weiter anhaltende Einströmen von Kattegatwasser in die Ostsee.

Der Salzgehaltsschnitt vom 29. 11. zeigt, daß praktisch das ganze Kattegat mit Nordseewasser angefüllt ist. Der im Samsö-Belt in der Tiefe lagernde Wasserkörper ist durch Vermischung in seinem Salzgehalt auf  $33\text{‰}$  herabgesetzt worden. Das Kattegatwasser füllt die Belte und hat die Gedser Enge auch an der Oberfläche erreicht.

Der am 1. 12. über die Beltsee schwenkende Kaltfrontausläufer bringt den Höhepunkt der Entwicklung. Im Fehmarnbelt steigt die Geschwindigkeit des Einstromes auf über 200 cm/s, bei Drogden auf über 120 cm/s. Das Ergebnis der dabei auftretenden Wasserbewegungen zeigen die Karte des Oberflächensalzgehaltes und der Schnitt vom 2. 12. 51. Die Beltseefront liegt weit östlich der Schwellen, was aus den Salzgehaltswerten von  $22\text{‰}$  bei Rödving und von  $13\text{‰}$  bei Klintholm folgt. Die Skagerrakfront ist durch die starke windbedingte Vermischung zersplittert und liegt im Südteil des Kattegats. Durch den Fehmarnbelt werden noch einige Wasserkörper geringeren Salzgehalts, die wahrscheinlich aus der Kieler Bucht stammen, an der Oberfläche mit nach Osten verfrachtet. In der Tiefe des südlichen Kattegats ist der dort befindliche Wasserkörper hohen Salzgehalts nunmehr fast vollständig aufgelöst. Seine Bedeutung liegt darin, daß er ständig durch Vermischung die über ihm lagernden Wassermassen mit Salz angereichert hat. Bei Skagen dringt in der Tiefe ein neuer Schwall salzreichen Wassers in das Kattegat ein.

Im weiteren Verlauf bis zum 11. 12., an dem eine erste Beruhigung der Wetterlage einsetzt, werden weiterhin größere Mengen salzreichen Wassers vor allem über die Darsser Schwelle in die Ostsee eingeschoben. Der Salzgehalt liegt während dieser Zeit bei Gedser ständig zwischen 23 und  $25\text{‰}$ . Eine Schichtung besteht nicht (vgl. Abb. 3, Taf. 12). Auch in der Beltsee und im Kattegat ist die Schichtung durch die starke Vermischung praktisch aufgehoben (Taf. 13, 7. und 11. 12.). Die Isohalinen laufen fast vertikal, das Wasser ist vollständig durchmischt. Im Anschluß daran beginnt die Weststurm- lage langsam abzuklingen. Der hohe Wasserstand der Ostsee führt bei Gedser und Drogden zu Ausstrom, im Fehmarnbelt kentert der Strom erst am 17. 12., nachdem an dieser Station einen vollen Monat lang Einstrom geherrscht hat. Der Salzgehaltsschnitt vom 21. 12. (Taf. 13) zeigt, daß die Beltseefront und mit ihr das Ostseewasser nunmehr wieder an der Oberfläche aus der Ostsee herauswandern. Auch in den Belten und im Kattegat wird das salzreiche Wasser zur Nordsee zurückgedrängt. Eine Schichtung hat sich jedoch außer über der Darsser Schwelle noch nicht wieder entwickeln können.

Diese mehr beschreibende Betrachtungsweise des Salzeinbruches soll im Folgenden durch eine Untersuchung der dynamischen Vorgänge ergänzt werden. Hierzu ist in Taf. 15 der Gang des Wasserstandes in Gedser und Korsör sowie der Oberflächenstrom

---

Legende zu den nebenstehenden Abbildungen (Taf. 13)

Längsschnitte des Salzgehaltes von Skagens Rev bis Gedser Rev Feuerschiff während der Zeit vom 16. 11.—21. 12. 1951. Die Lage des Schnittes ist in Tafel 14, Karte vom 2. 12. eingetragen.

bei Feuerschiff Gedser Rev und Fehmarnbelt und der Wind nach den Beobachtungen auf Feuerschiff Fehmarnbelt für den Zeitraum vom 23. 11.—16. 12. 1951 dargestellt worden. Der Beginn dieses Zeitraumes fällt mit dem Beginn des Einstromes bei Gedser und dem Durchwandern der Beltseefront bei Drogden zusammen (vgl. Abb. 3, Taf. 12), das Ende mit dem Kentern des Stromes im Fehmarnbelt am 16. 12., also dem Ende des Einstromes.

Die Strommessungen des Feuerschiffes Fehmarnbelt sind nicht nur deshalb gewählt worden, weil es etwa auf dem halben Wege zwischen den beiden Pegeln Gedser und Korsör liegt, sondern weil seine Beobachtungen den Verlauf der Einstromlage am besten kennzeichnen. Ein Vergleich der Strombeobachtungen der Feuerschiffe Fehmarnbelt, Gedser Rev und Drogden in Abb. 3, Taf. 12, zeigt, daß lediglich in den Beobachtungen von Fehmarnbelt die Einstromlage als geschlossenes Ganzes erscheint. Sowohl Gedser Rev als Drogden liegen zu nahe an der Beltseefront und damit ist die Strömung an diesen Stationen häufigen Schwankungen unterworfen. Die nur wenig östlich dieser beiden Stationen liegende Front beginnt nämlich sofort beim Nachlassen des Winddruckes nach Westen zu wandern und führt zu dem häufigen Kentern des Stromes, was in den Beobachtungen beider Stationen erkennbar ist.

Zu Beginn des Zeitraumes ist der Wasserstand der Ostsee durch den Ausstrom als Folge der starken Südost- und Ostwinde stark erniedrigt. Er liegt etwa 20—30 cm unter dem mittleren Wasserstand. Beim Durchziehen des Tiefdruckgebietes am 25. 11. fällt der Wasserstand in Gedser um 60 cm, während er in Korsör nach einem Absinken um 30 cm innerhalb 20 Stunden um 100 cm steigt. Das maximal auftretende Gefälle zwischen beiden Pegeln beträgt 140 cm, wobei es bei Feuerschiff Fehmarnbelt zu einem Einstrom mit einer Geschwindigkeit von 170 cm/s kommt. Beim Nachlassen des Windes am 26. 11. verschwindet das Gefälle wieder, anscheinend durch Zurückschwingen der Wassermassen der Ostsee. Hierbei läßt der Strom nach.

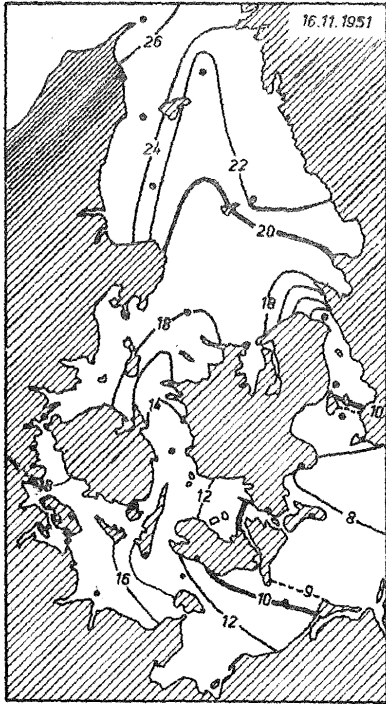
Eine in der Nacht vom 27. zum 28. 11. durchlaufende Kaltfront führt wieder unter Verstärkung des Gefälles zu kräftigem, anhaltendem Einstrom. Das Rückschwingen am 29. 11. tritt ein, als der Wind über der ganzen Ostsee beim Durchwandern eines Trogausläufers rasch von Südwest auf Nordwest dreht. Während der Strom bei Fehmarnbelt auf 35 cm/s zurückgeht, kentert er bei Gedser Rev sogar. Die nächste am Morgen des 1. 12. durchlaufende Kaltfront führt wieder zu einem Absinken des Wasserstandes in Gedser auf 90 cm unter NN. Das dabei auftretende Gefälle von über 100 cm zwischen Korsör und Gedser bedingt einen Einstrom von über 200 cm/s mit einer Dauer von über 24 Stunden. Bei Nachlassen des Windes und Rückschwingen der Wassermassen der Ostsee am 2. 12. verschwindet das Gefälle zwischen Korsör und Gedser gänzlich, der Strom bei Gedser kentert kurzfristig, bei Fehmarnbelt sinkt er auf 30 cm/s ab, läuft dann aber mit etwa 100 cm/s weiterhin einwärts. Bemerkenswert ist, daß die Schwankungen des Wasserstandes bei Gedser beim Vorüberziehen von Tiefdruckgebieten wesentlich größer sind als bei Korsör. Dies läßt darauf schließen, daß sich bei Gedser die Erscheinungen klarer ausprägen als bei Korsör, wo die engen Gewässer des Fehmarnbeltes und des Großen Beltes eine gewisse Verzögerung und Abschwächung der Vorgänge bewirken.

Die beiden am 4. 12. und in der Nacht vom 5. zum 6. 12. durchziehenden Tiefdruckgebiete führen nochmals zur Ausbildung eines starken Gefälles, das zweite zu Einstrom über 200 cm/s im Fehmarnbelt. Damit ist der Höhepunkt der Entwicklung auch bereits überschritten, der Einstrom ebbt langsam ab und auch das Gefälle erreicht kaum Werte

---

Legende zu den nebenstehenden Abbildungen (Taf. 14)

Karten der Verteilung des Salzgehaltes an der Oberfläche des Kattegats und der Beltsee am 16. 11., 26. 11., 2. 12. und 11. 12. 1951.



Tafel 14



über 50 cm mehr. Bei dem in der Nacht vom 8. zum 9. 12. durchziehenden Tiefausläufer kommt es in Korsör zu keiner Erhöhung des Wasserstandes mehr, sondern an beiden Orten sinkt der Wasserstand gleichmäßig ab, was auf eine Erschöpfung der vom Kattegat nachströmenden Wassermassen schließen läßt. Nach Durchziehen dieses letzten Tiefs kentert der Strom bei Gedser an der Oberfläche, während er im Fehmarnbelt noch immer weiter einwärts läuft. Diese Erscheinung beruht darauf, daß die bei Gedser liegende Front westwärts wandert, also bei Gedser Ausstrom an der Oberfläche herrscht, während im Fehmarnbelt salzreiches Wasser an der Oberfläche einströmt. Dieses salzreiche Wasser schiebt sich dann unter das leichtere ausströmende und dringt in der Tiefe über die Darsser Schwelle in die Ostsee ein. Der Vorgang ist vom Verfasser (1953) an anderer Stelle ausführlich beschrieben worden.

Während des Abklings der Einstromlage kommt es vom 6.—12. 12. zur Ausbildung von Eigenschwingungen der Ostsee, die in den Strommessungen von Feuerschiff Fehmarnbelt ganz klar hervortreten, in den Aufzeichnungen der Pegel von anderen Erscheinungen anscheinend überdeckt werden. In 152 Stunden werden 6 Schwingungen ausgeführt, das entspricht einer Periode von 25,3 Stunden. Auch in den Strombeobachtungen von Feuerschiff Gedser Rev sind diese Schwingungen nachweisbar, hier läuft der Strom ab 8. 12. auswärts, und zwar im gleichen Rhythmus wie bei Fehmarnbelt mehr oder weniger stark. Nach Abflauen des Windes am 11. 12. zeigt es sich, daß der Wasserstand in der Ostsee etwa 30—40 cm über dem mittleren Wasserstand liegt, was einer Hebung des Ostseespiegels von ca. 60 cm während dieser Einstromperiode entspricht.

Insgesamt ist zu den dynamischen Vorgängen zu bemerken, daß diese das Ergebnis der unmittelbaren Einwirkung der Wetterlage auf die Wassermassen im Übergangsbereich zwischen Nord- und Ostsee sind. Wesentlich für die Größe der stattgefundenen Wasserbewegungen ist allerdings die Tatsache, daß der Wasserstand der Ostsee zu Beginn dieser Wetterlage sehr niedrig war.

Im folgenden soll der Versuch unternommen werden, eine Abschätzung der während dieser Zeit in die Ostsee eingeströmten Wassermengen zu geben. Gleichzeitig kann dann, da der Salzgehalt bekannt ist, auch die während dieser Zeit eingeströmte Salzmenge berechnet werden. Die Abschätzung der durch den Sund einströmenden Mengen ist nach der von JACOBSEN (1925) gegebenen Relation zwischen der Stromgeschwindigkeit und dem Transport bei Drogden vorgenommen worden. Die Berechnung der über die Darsser Schwelle strömenden Mengen gestaltet sich demgegenüber wesentlich schwieriger, da dort fast stets eine Unterteilung in einen Oberflächen- und einen Tiefenstrom besteht. Dies ist besonders während der Zeit vom 5.—16. 12. der Fall, wo der Strom bei Feuerschiff Gedser Rev und Fehmarnbelt entgegengesetzt läuft. Gerade während dieser Zeit strömen in der Tiefe bei Gedser Rev bedeutende Mengen salzreichen Wassers in die Ostsee ein. Es ist daher entsprechend der vom Verfasser (1953) angewandten Methode der Versuch unternommen worden, auf Grund der Beobachtungen des Oberflächenstromes der beiden Feuerschiffe Gedser Rev und Fehmarnbelt und der Tiefenlage der Sprungschicht an den beiden Stationen den Tiefenstrom bei Gedser Rev abzuschätzen. Auf eine Mitteilung der Einzelwerte soll hier verzichtet werden. Es ergibt sich als resultierender Transport während der Zeit vom 23. 11.—16. 12. 1951 bei

Drogden	32 km <sup>3</sup>
Gedser Rev	169 km <sup>3</sup>
insgesamt	<u>201 km<sup>3</sup></u>

Der Fehler dieser Abschätzung dürfte etwa  $\pm 20\%$  betragen, doch scheint der Wert von 200 km<sup>3</sup> eher zu niedrig als zu hoch zu liegen. Auf zwei anderen Wegen kommt man ebenfalls zu einer Abschätzung der der Ostsee zugeführten Wassermenge. Wie oben erwähnt, ist während der Einstromperiode der mittlere Wasserstand in der Ostsee

um etwa 60 cm gestiegen. Bei einer Fläche von  $365000 \text{ km}^2$  bedeutet das einen Wassergewinn von  $220 \text{ km}^3$  in guter Übereinstimmung mit dem oben erhaltenen Ergebnis.

Die in die Ostsee über die Darsser und Drogden-Schwelle eindringenden Wassermassen gelangen zunächst in das Arkona-Becken, das Tiefen bis zu 50 m aufweist, und von dort über eine Schwelle von 46 m Satteltiefe in das bis 100 m tiefe Bornholm-Tief. Durch eine Planimetrierung der einzelnen Tiefenstufen des Bornholm-Tiefs kann man feststellen, daß eine Wassermenge von  $200 \text{ km}^3$  dieses Becken vom Boden bis zu einer Tiefe von 56 m ausfüllen müßte. Nach der in Abb. 2, Taf. 12, gegebenen vertikalen Verteilung des Salzgehaltes im Bornholm-Tief ist zu erkennen, daß das frisch eingeströmte Wasser über  $18\text{‰}$  dieses Becken bis zu einer Tiefe von 60 m tatsächlich ausfüllt. Das entspricht einer Menge von  $170 \text{ km}^3$ . Der Rest dürfte wahrscheinlich noch in den tieferen Schichten des Arkona-Beckens lagern oder über die das Bornholm-Tief nach Osten abschließende Schwelle von 60 m Satteltiefe in das Gotlandbecken abgefließen sein. Auch bei dieser Berechnung ergibt sich eine durchaus befriedigende Übereinstimmung mit der oben berechneten Menge von  $200 \text{ km}^3$ . Diese drei unabhängig voneinander ausgeführten Abschätzungen führen alle auf etwa die gleiche Menge, womit die Richtigkeit dieser Zehl wohl nachgewiesen sein dürfte.

Eine Berechnung der eingedrungenen Salzmenge führt auf den Wert von  $4,4 \cdot 10^9 \text{ t}$  das entspricht einem mittleren Salzgehalt von  $22\text{‰}$  des einströmenden Wassers. Nimmt man an, daß in der Folgezeit die gleiche Wassermenge von  $200 \text{ km}^3$  aber nur mit einem Salzgehalt von  $10\text{‰}$  die Ostsee an der Oberfläche verläßt, so verbleiben in der Ostsee  $2,4 \cdot 10^9 \text{ t}$  Salz. Bei einem Wasservolumen der Ostsee von  $23000 \text{ km}^3$  ergibt dies eine Erhöhung des mittleren Salzgehaltes der Ostsee um  $0,1\text{‰}$ . Nach den Arbeiten von SEGERSTRÅLE (1951) ist der Salzgehalt der Ostsee in den vergangenen 50 Jahren um etwa  $0,5\text{‰}$  gestiegen. Das bedeutet, daß ein solcher sich alle 10 Jahre wiederholender Vorgang für diesen Salzanstieg ausreicht.

Zusammenfassend kann gesagt werden, daß bei dem behandelten Salzeinbruch in die Ostsee das Zusammenwirken von drei wesentlichen Faktoren ausschlaggebend war. Grundsätzlich bedingt war der Vorgang durch eine drei Wochen lang anhaltende Westlage mit starken Stürmen. Die Vorbedingung für die Größe der eingedrungenen Wassermenge war der niedrige Wasserstand in der Ostsee und damit die vorangegangene anhaltende Ostlage. Die Vorbedingung für die Größe des Salzeinbruches war der hohe Salzgehalt in der Tiefe des Kattegats und sein weites Vordringen in die Belte. Der letzte Effekt hängt sicher nicht unmittelbar vom meteorologischen Geschehen ab, sondern von einer mehr oder minder starken Zufuhr ozeanischen Wassers in die nördliche Nordsee und das Skagerrak.

Die Bedeutung solcher Wasser- und Salzeinbrüche in die Ostsee, von denen die Wasserschichtung im Gotland-Tief im Jahre 1933/34 von KALLE (1943) behandelt worden ist, liegt außer in der ständigen Erhöhung ihres Salzgehaltes in der stärkeren Durchlüftung der Tiefenschichten und damit in einer Veränderung der Lebensbedingungen in ihnen.

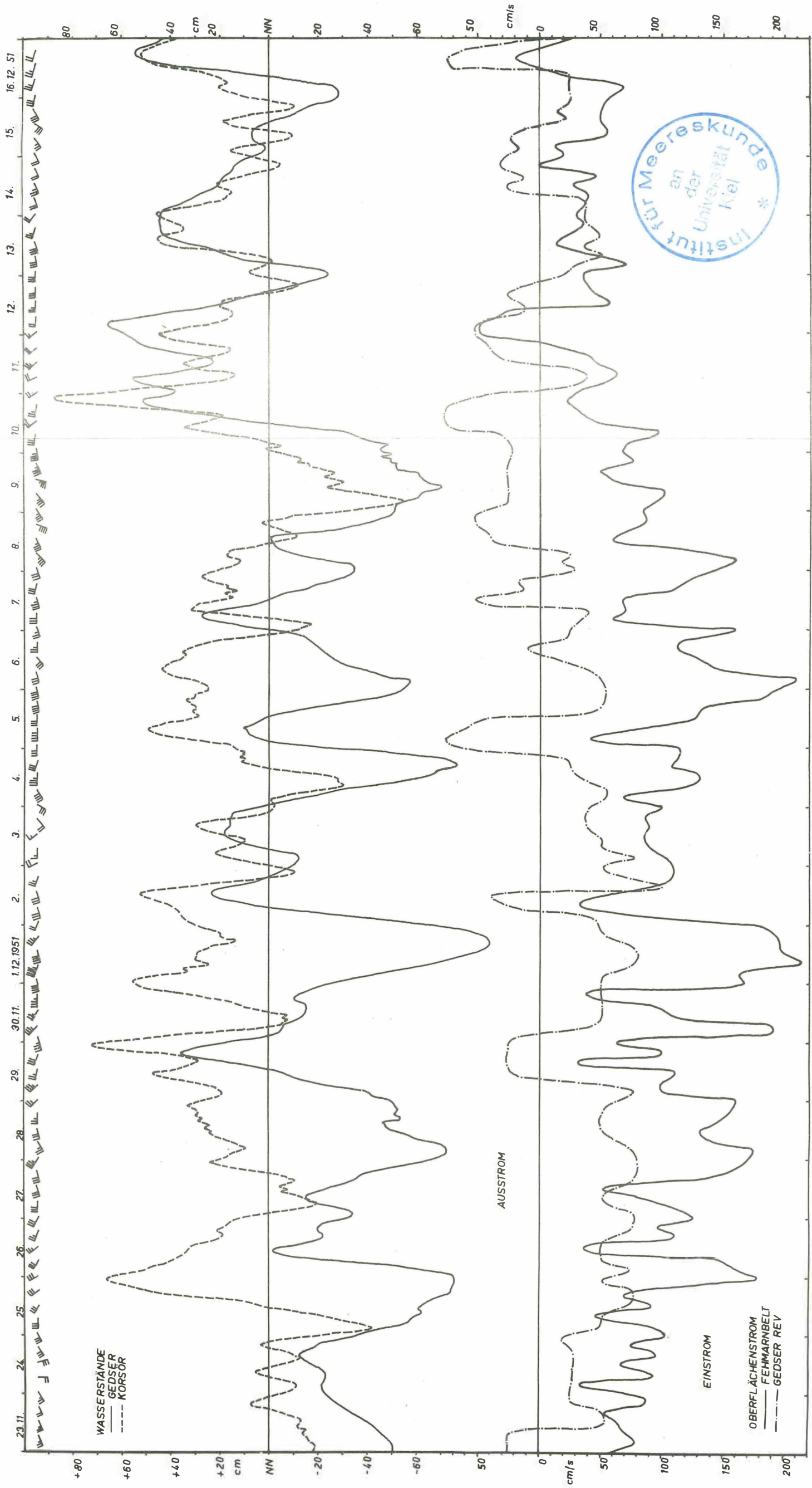
Diese Arbeit ist im Rahmen von Untersuchungen des Wasseraustausches zwischen Nord- und Ostsee entstanden, die ich im Auftrage der Deutschen Forschungsgemeinschaft durchführe. Ich möchte der Deutschen Forschungsgemeinschaft an dieser Stelle für die gewährte Unterstützung danken.

---

Legende zu den nebenstehenden Abbildungen (Taf. 15)

Einstromlage vom 23. 11.—16. 12. 1951.

Wind bei Feuerschiff Fehmarnbelt, Wasserstände bei Gedser ———— und Korsör ————, Oberflächenstrom bei den Feuerschiffen Fehmarnbelt ———— und Gedser Rev ————



Tafel 15

### Literaturverzeichnis

- JACOBSEN, J. P.: Die Wasserumsetzung durch den Öresund, den Großen Belt und den Kleinen Belt. Medd. Komm. Havunders., Ser. Hydrogr., 2, Nr. 9.
- JENSEN, A. C.: Fluctuations in the hydrography of the transition area during 50 years. Rapp. Proc. Verb. Vol. 102 1937.
- KÄNDLER, R.: Der Einfluß der Wetterlage auf die Salzgehaltsschichtung im Übergangsbereich zwischen Nord- und Ostsee. Dt. Hydrogr. Z. Bd. 4, 1951.
- KALLE, K.: Die große Wasserumschichtung im Gotland-Tief vom Jahre 1933/34. Annalen der Hydrographie, 1943.
- SEGERSTRÅLE, S.: The recent increase in salinity off the coasts of Finland and its influence upon the fauna. Journ. Cons. Vol. 17 Nr. 2, 1951.
- THOMSEN, H.: Annales Biologiques Vol. 8, 1951 S. 118 und 130.
- WYRTKI, K.: Die Dynamik der Wasserbewegungen im Fehmarnbelt I. Kieler Meeresforschungen, 1953.
- Dansk Meteorologisk Institut, 1952: Naut. Meteorol. Aarbog 1951. Kopenhagen.
- Meteorologisches Amt für Nordwestdeutschland: Tägliche Wetterberichte, No., Dez. 1951.