

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.

Allgemeine Charak- terisierung	Becken Schwelle	max. Tiefe Satteltiefe in m	Bezeichnung bzw. Lage des Tiefs
III. östliche Meerbusen	7. Rigaer Meerbusen	63	südöstl. Insel Runö
	8 Finnischer Meerbusen	110	nordöstl. Odens- holm
	Aaland-Schwelle (gegen II)	40—50	
IV. Bottnischer Meerbusen	9. Aalandsee	301	Aalands-Tief
	Süd-Quarken	ca. 50	
	10. Bottensee	294	Ullö-Tief
	Nord-Quarken.	ca. 25—30	
	11. Bottenwiek	ca. 146 ¹⁾	nordöstl. Bjurö- klubb

Die Salzgehaltsverteilung in der Kieler Bucht und ihre Abhängigkeit von Strom und Wetterlage.

Von H. WATTENBERG †.

I. Einleitung.

Die Ostsee steht mit dem offenen Meer durch drei Meeresstraßen in Verbindung: den Großen Belt, den Kleinen Belt und den Sund. Die kürzeste, aber auch seichteste Verbindung ist der Sund, die schmalste der Kleine Belt, während der Große Belt mit der größten Schwellentiefe (18 m) auch die größte Länge besitzt. Großer und Kleiner Belt, die dank ihrer Schwellentiefen die Hauptdurchlässe für die salzreichen Wassermassen des Kattegat darstellen, führen jedoch nicht getrennt vom Kattegat bis zur Ostsee, sondern münden zunächst in die Kieler Bucht, von der aus eine kurze breite Verbindung, der Fehmarnbelt, in die Mecklenburger Bucht und durch die Gjedser Enge in die eigentliche Ostsee führt.

Kieler und Mecklenburger Bucht sind als weite Meeresbecken in das System der Belte eingeschaltet und heben sich durch eine hydrographische Sonderstellung aus dem Übergangsgebiet heraus. Wir wußten bisher von diesen beiden Meeresteilen nicht viel mehr, als daß sie eine Stätte angeblich regelloser Vermischung salzärmer und salzreicher Wassermassen seien. Die Vernachlässigung der Hydrographie dieser z. B. biologisch gut untersuchten Gebiete ist um so auffälliger, als bekanntlich in Kiel die ältesten Anfänge einer alle Teildisziplinen umfassenden Meeresforschung zu finden sind, die von 1870 bis 1936 in der „Preußischen Kommission zur Untersuchung der Deutschen Meere“ verkörpert war. Man kann sich die Spärlichkeit der hydrographischen Beobachtungen in un-

¹⁾ Nach H. RENQUIST, Bathymetric chart of the Bothnian Bay and the North Kvark. Echo-soundings in the years 1927—1929 (Helsinki 1930). Eine tiefere, in den deutschen Seekarten Nr. 178 und 242 verzeichnete Lotung von 176 m wurde durch diese Echolotungen nicht bestätigt.

mittelbarer Nähe der damaligen Zentrale der deutschen Meeresforschung dadurch erklären, daß die wenigen auf den Ostseeterminfahrten gewonnenen Stichproben keinerlei Gesetzmäßigkeiten erkennen ließen, die zu einer eingehenderen Untersuchung verlockt hätten.

Als 1936 die meereskundliche Forschung in dem neu gegründeten Institut für Meereskunde der Universität Kiel wieder aufgenommen wurde, richtete sich unser Augenmerk auf den uns räumlich am nächsten liegenden, morphologisch ziemlich in sich geschlossenen Teil des Übergangsgebietes zwischen Nord- und Ostsee. Es wurden hydrographische Untersuchungen auf lange Sicht begonnen, die die Grundlage für eine allgemeine meereskundliche, also auch Chemie, Biologie und Geologie umfassende Erforschung bilden sollten. Diesem Zweck dienten in unserem Falle einerseits Ausfahrten, auf denen eine größere Anzahl über das ganze Gebiet verteilter hydrographischer Stationen durchgeführt wurden, andererseits eine Bearbeitung der täglichen Terminbeobachtungen von Landstationen und Feuerschiffen, die uns für das Übergangsgebiet in so unvergleichlicher Vollständigkeit zur Verfügung stehen. Ein erster Teil der Ergebnisse betreffend die Grenzen zwischen Nord- und Ostseewasser ist kürzlich veröffentlicht worden. In der vorliegenden Arbeit sollen auf Grund der Beobachtungen von 19 Ausfahrten die Gesetzmäßigkeiten herausgeschält werden, die die Salzgehaltsverteilung in der Kieler Bucht beherrschen. Das setzt eine gewisse Kenntnis der allgemeinen Hydrographie des Übergangsgebietes voraus. Diese z. T. bekannten Grundlagen sollen zunächst mit besonderer Berücksichtigung des vorliegenden Zweckes kurz dargestellt werden.

II. Vorbemerkungen zur Hydrographie der Beltsee.

Zwischen Nordsee und Ostsee findet man bekanntlich überall zwei meist scharf voneinander getrennte Schichten: eine salzarme Oberschicht und eine salzreiche Unterschicht, die im Übergangsgebiet auskeilen. Man identifiziert diese beiden Schichten häufig mit einem Einstrom in der Unterschicht und einem Ausstrom in die Oberschicht, die durch den Dichteunterschied zwischen Nord- und Ostseewasser entstehen. Es darf jedoch nicht vergessen werden, daß diese Vorstellung von gleichmäßigen Gradientenströmen nur eine Abstraktion ist, bei der durch Mittelbildung über längere Zeiträume die das Bild des Augenblicks beherrschenden wetterbedingten Strömungen eliminiert worden sind. Was wir tatsächlich beobachten, ist ein zunächst scheinbar regelloses Hin- und Herpendeln der Wassermassen durch die Meeresstraßen des Übergangsgebietes, von dem sowohl die salzarme Oberschicht wie oft auch die salzreiche Unterschicht erfaßt werden. Es überlagern sich also den aus dem inneren Kraftfeld resultierenden gleichmäßigen Gradientenströmen die schnell wechselnden Bewegungen, die durch windbedingte Niveaudifferenzen, also durch ein äußeres Kraftfeld erzeugt werden.

Die Linie des Auskeilens der salzarmen Schicht an der Oberfläche, mit anderen Worten die Schnittlinie der Sprungfläche mit der Oberfläche, zeichnet sich durch einen scharfen horizontalen Gradienten des Salzgehalts aus, der dem vertikalen Gradienten in der Sprungschicht entspricht. Diese Schnittlinie ist also, wie z. B. die Grenzlinien zwischen polarem und subtropischem Wasser im Ozean eine typische hydrographische Front im Sinne DEFANTS. Genau genommen

haben wir es, wie an anderer Stelle dargelegt wurde, mit zwei Fronten zu tun, deren eine zwischen Skagerrak und Kattegat pendelt, während die andere, die Hauptfront, zwischen Kattegat und Ostsee, also in der Beltsee hin und her wandert.

Eine frühere Untersuchung hat gezeigt, daß man alle Änderungen in der Salzgehaltsverteilung an der Oberfläche im Übergangsgebiet als Verlagerungen dieser Fronten unter dem Einfluß der Wetterlage betrachten und beschreiben kann¹⁾. Die Bewegung der Fronten wird durch die Großwetterlage gesteuert, und zwar bewegt sich die Front in Richtung auf die Ostsee, wenn der Luftdruckgradient von Süden nach Norden gerichtet ist, während bei einem nordsüdlichen Gradienten die Front in umgekehrter Richtung dem Kattegat zuwandert. Die erste Situation, die also entsteht, wenn ein Tiefdruckgebiet auf einer der normalen Zugstraßen Nordeuropa überquert, nennen wir **Einströmfall**, weil das Wasser in die Ostsee hineinströmt. Der zweite Fall, der durch ein skandinavisches Hochdruckgebiet gekennzeichnet ist, wird dementsprechend als **Ausströmfall** bezeichnet. Bei extrem lange dauernden Ein- oder Ausströmlagen kann die Beltseefront bis weit ins Kattegat hinein bzw. bis zur Drogden-Schwelle und Darßer Schwelle wandern.

In den engen Meeresstraßen der Belte und des Sundes bietet die Wanderung der Fronten keine besonderen Probleme. Dagegen ist in den weiten Meeresgebieten der Kieler und Mecklenburger Bucht das Verhalten der Front keineswegs vorauszusehen, zumal die topographischen Eigenarten dieser Gebiete von maßgebendem Einfluß auf die Hydrographie sein müssen. Es wird daher ein wesentlicher Teil unserer Aufgabe sein, an Hand des Beobachtungsmaterials zu untersuchen, wie sich die Verschiebungen der Beltseefront in der Kieler und Mecklenburger Bucht auswirken.

Zwei morphologische Tatsachen sind es vor allem, die bei der Diskussion zu berücksichtigen sind. Zunächst die wirksamen Querschnitte der Meeresstraßen, welche die Kieler Bucht einerseits mit dem Kattegat, andererseits mit der Ostsee verbinden. Wenn wir die wirksamen Querschnitte des Großen und des Kleinen Belts an ihrer engsten Stelle oberhalb der Schwellentiefe berechnen, so verhalten sie sich wie 13 : 1. Daraus folgt, daß jedenfalls für die schnell wechselnden Wassertransporte der Kleine Belt keine Rolle spielen kann, sondern daß der Austausch fast ausschließlich durch den Großen Belt und den Sund erfolgt. Erst bei sehr lange andauernden Ausstrom- oder Einstromlagen macht sich der Wassertransport durch den Kleinen Belt bemerkbar.

Ein zweiter Umstand ist für die Hydrographie der Kieler Bucht fast von noch größerer Bedeutung. Wie ein Blick auf die Karte zeigt, münden der Große Belt und der Fehmarnbelt beide in die Nordostecke der Kieler Bucht ein, sie stoßen dort etwa im rechten Winkel aufeinander. Der Hauptzu- und -abfluß erfolgt also in der Kieler Bucht von derselben Seite her, wenn man den Transport durch den Kleinen Belt außer Betracht läßt. Die aus dem Kattegat oder aus der Ostsee ankommenden Wassermassen können also die Kieler Bucht nicht einfach durchströmen, sondern müssen sich auf andere Art und Weise in ihr ausbreiten.

¹⁾ WATTENBERG, H., Über die Grenzen zwischen Nord- und Ostseewasser. *Annalen der Hydrogr.* 1941, 265—279.

III. Die Ausfahrten in die Kieler Bucht.

Wir geben zunächst in Form einer Tabelle eine Übersicht über die Ausfahrten mit einigen Angaben über den Charakter der angetroffenen Situation (Tab. 1).

Tabelle 1

Übersicht über die in der Arbeit behandelten Ausfahrten in der Kieler Bucht.

Nr.	Jahr	Datum	Stationen	Charakter der Stromlage
2	1936	4.—7. VII.	6	Beginnender Einstrom
7	1937	16.—21. VIII.	25	Seit 1½ Wochen Ausstrom
8		7.—16. XII.	25	Seit etwa 1 Woche starker Ausstrom
9	1938	23.—28. II.	27	Ende einer sehr langen Ausstromlage
10		12.—13. IV.	10	Beginnender Ausstrom nach starkem Einstrom
11		14.—17. VII.	33	Seit 2 Wochen beständiger Ausstrom
12		6.—8. XI.	43	Starker Einstrom seit 5 Tagen
13	1939	29. III.	23	Seit 3 Wochen Ausstrom mit kurzen Unterbrechungen
16		22.—24. V.	49	Seit 5 Tagen Einstrom nach langer Ausstromlage
17		22.—24. VI.	25	Seit 10 Tagen Ausstrom
18		17.—19. VII.	23	Beginnender Ausstrom
19		9.—10. VIII.	47	Seit 1 Woche starker Ausstrom

Aus der einleitenden Darstellung der allgemeinen hydrographischen Verhältnisse in der Kieler Bucht ergibt sich eine natürliche Einteilung der Ausfahrten in solche, die während einer Ausstromlage und solche, die während einer Einstromlage gemacht wurden. Die zu diesen beiden Situationen gehörenden Wetterlagen, nämlich bei Ausstrom hoher Druck über Nordeuropa, besonders über Skandinavien, und bei Einstrom Depressionen, die von Island kommend über die Nordsee nach Osten weiterwandern — diese beiden entgegengesetzten Wettertypen sind für die Durchführung von Ausfahrten mit kleinen Schiffen verschieden günstig: Bei Einstromlage haben wir starke bis stürmische westliche Winde zu erwarten, die das Arbeiten auf See erschweren oder ganz unmöglich machen, während eine nordeuropäische Antizyklone meist mit ausgesprochen schönem Wetter und nur schwachen östlichen Winden verbunden ist. So ist es nicht erstaunlich, daß die meisten Ausfahrten zu Zeiten von Ausstromlagen stattfanden, und daß nur auf vier oder fünf Ausfahrten mehr oder weniger ausgeprägte Einstromlagen erfaßt wurden. Infolgedessen sind unsere Kenntnisse von den Vorgängen bei Ausstrom bedeutend besser begründet als das, was wir über die verschiedenen Stadien bei Einstrom sagen können²⁾.

²⁾ Aus Raumgründen müssen hier die genauen Beschreibungen der bei den einzelnen in Tab. 1 genannten Ausfahrten angetroffenen Wetterlagen, Stromverhältnisse und Salzgehaltsverteilungen nebst den Karten der Luftdruckverteilungen und der Verteilungen des Oberflächensalzgehalts, die WATTENBERG bereits im Umbruch als Anhang fertig gestellt hatte, fortfallen. Dieser Anhang wird im Institut aufbewahrt und steht Näherinteressierten in Photokopie zur Verfügung.

IV. Der hydrographische Zustand während der beiden Haupt-Stromlagen.

Wenn man das Gesamtergebnis der sämtlichen Fahrten zusammenfassend darstellen will, so ist es am zweckmäßigsten, die Vorgänge während der beiden Haupt-Stromlagen, nämlich der Ein- und Ausströmung, zu schildern und deren Ursachen und ihre Wirkungen auf die Salzgehaltsverteilung zu untersuchen.

A. Ausströmung.

Hoher Druck über Nordskandinavien mit östlichen Luftströmungen über Ostsee und Skagerrak treibt das Wasser aus dem Skagerrak hinaus und läßt den Meeresspiegel im Katttegat sinken, während sich gleichzeitig die Wassermassen der Ostsee in deren südwestlichem Teil aufstauen. Infolgedessen strömt Ostseewasser durch die Pforten der Ostsee ab, in unserem Gebiet durch den breiten Fehmarnbelt in die Kieler Bucht, aus der es durch den engen und langen Langelandbelt und den sehr schmalen Kleinen Belt nicht so schnell abfließen kann. Der Wasserstand in der Kieler Bucht steigt daher so lange, bis Gleichgewicht zwischen dem Zustrom durch den Fehmarnbelt und dem Abfluß durch den Langeland- und Kleinen Belt erreicht ist. In dieser ersten Phase, in der sich die Kieler Bucht füllt, dringt während einiger Stunden salzarmes Wasser eine kurze Strecke in die Kieler Bucht ein. Nachdem jedoch Gleichgewicht erreicht ist, fließt in der zweiten Phase das aus der Ostsee kommende Wasser aus dem Fehmarnbelt zum größten Teil unmittelbar durch den Großen Belt weiter, also geradezu an der Kieler Bucht vorbei.

Dieser Vorgang wird stark unterstützt durch die ablenkende Kraft der Erdrotation: Bei Ausstrom wird das salzarme Wasser im Fehmarnbelt nach rechts, also an die Küste von Laaland gedrückt, so daß die Isohalinen etwa parallel zur Stromrichtung verlaufen. Das ausströmende Ostseewasser hat daher gleich nach dem Verlassen des Fehmarnbelt die Tendenz, nach rechts in den Langelandbelt einzuströmen, und es wird ein Eindringen in die Kieler Bucht stark unterdrückt, so daß bei kürzerer Dauer des Ausstromfalles der Salzgehalt in der Kieler Bucht kaum erniedrigt wird.

Besonders schön kommt diese Wirkung der Erdrotation in einem Querschnitt durch den Fehmarnbelt zum Ausdruck, der auf Ausfahrt Nr. 8 gewonnen wurde (Abb. 1). Er zeigt übrigens eine bemerkenswerte Übereinstimmung mit den ent-

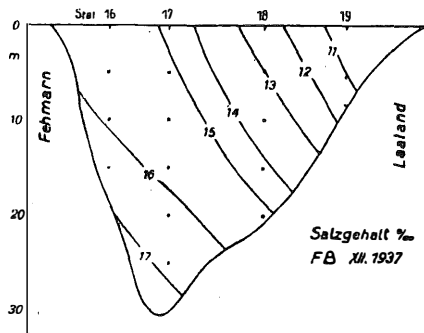


Abb. 1. Querschnitt des Salzgehalts durch den Fehmarnbelt am 8. XII. 1937.

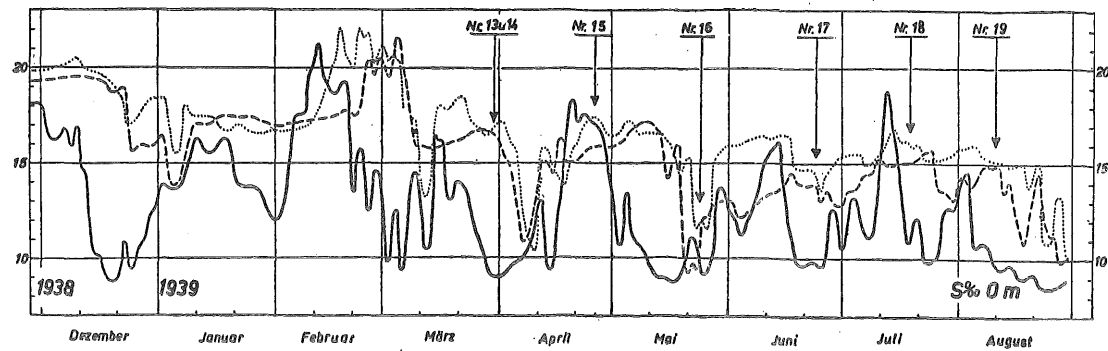
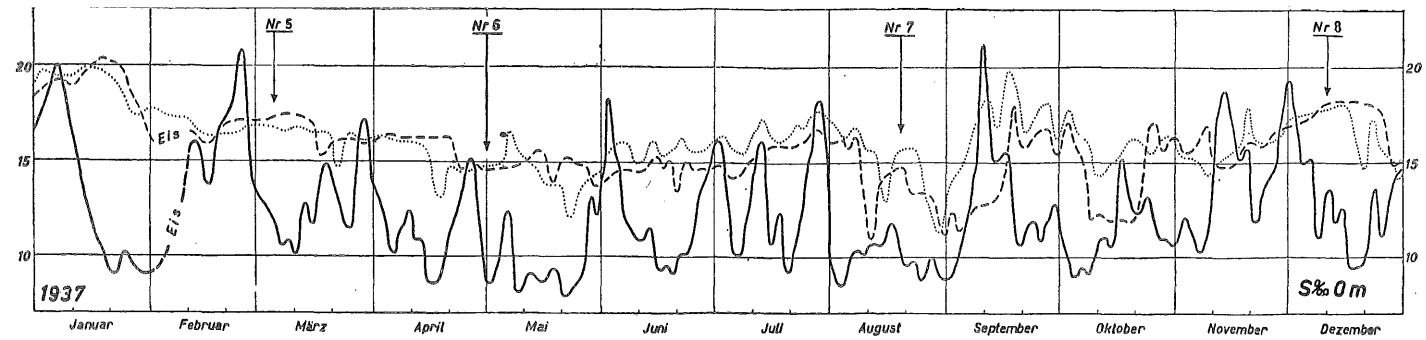
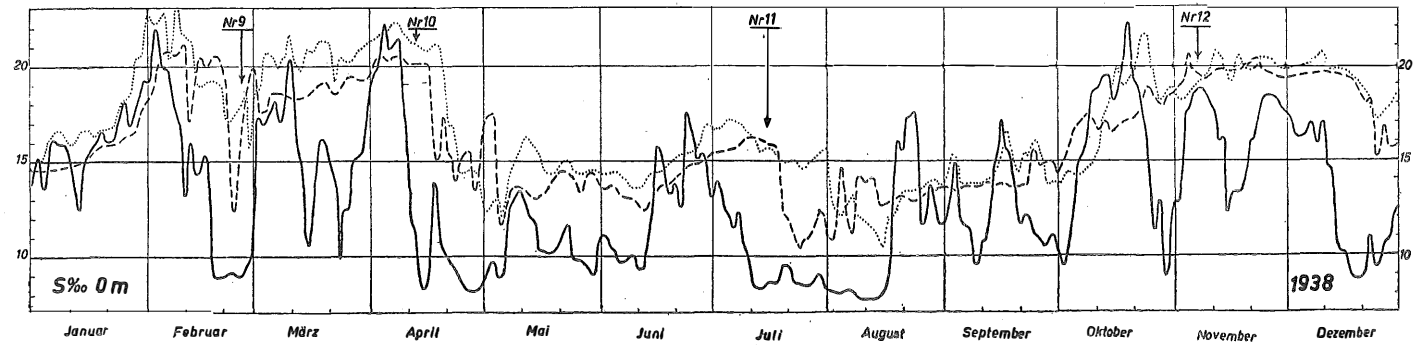


Abb. 2. Salzgehaltsgang in der östlichen, mittleren und nordwestlichen Kieler Bucht.

— „Fehmarnbelt“ - - - - „Kiel“ „Mommark“. Die Pfeile bezeichnen die Termine der Ausfahrten.

sprechenden Querschnitten durch den Finnischen Meerbusen, die E. PALMÉN³⁾ bei einem starken Nordoststurm erhalten hat.

Bei längerer Dauer des Ausstromes, wie sie durch eine sehr stabile skandinavische Hochdruckwetterlage hervorgerufen wird, kommt nun aber doch der — wenn auch geringe — Abfluß durch den Kleinen Belt zum Tragen: Es dringt in demselben Maße salzarmes Wasser allmählich in die Kieler Bucht ein, wie das salzreiche Wasser aus dem westlichen Teil der Kieler Bucht langsam durch den Kleinen Belt abfließt. Dieser Vorgang wird in der Kieler Bucht selbst durch östliche Winde, wie sie öfters mit der Ausstromwetterlage verknüpft sind, unterstützt, und wir haben es dann ausnahmsweise mit einer unmittelbaren Driftwirkung des Windes zu tun, die in den engen Meeresstraßen der Belte und des Sundes nicht zur Geltung kommt. Mit dem Vordringen des salzarmen Wassers rückt also die Beltseefront von der Verbindungslinie Langeland — Fehmarn langsam in die Kieler Bucht vor und kann schließlich bei sehr lang dauernder Ausstromperiode den westlichsten Teil der Bucht und den Eingang des Kleinen Beltes erreichen. Es sei jedoch betont, daß solche Fälle ziemlich selten (etwa 4—6 mal im Jahre nach den Beobachtungen von 1937 und 1938) vorkommen. Es gehören dazu Ausstromperioden, die sich über etwa einen Monat hin erstrecken.

Das Vorrücken der Beltseefront durch die Kieler Bucht kann in zwei voneinander etwas verschiedenen Arten vor sich gehen, zwischen denen

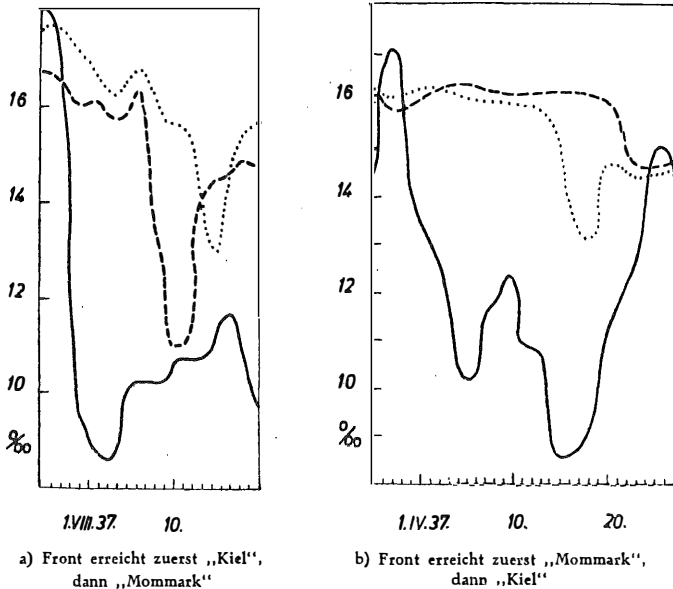


Abb. 3 a u. b. Salzgehaltsgang bei „Fehmarnbelt“ (—), „Kiel“ (---) und „Mommark“ (....), wenn eine Ausstromfront die Kieler Bucht durchwandert.

³⁾ PALMÉN, E. u. LAURILA, E., Über die Einwirkung eines Sturmes auf den hydrographischen Zustand im nördlichen Ostseegebiet. Soc. Scient. Fenn. Comm. Phys.-Math. X, 1 (1939).

es natürlich alle Übergänge gibt. Es läßt sich das an dem Gang des Salzgehalts bei den Feuerschiffen „Fehmarnbelt“, „Kiel“ und bei der Landstation „Mommark“ an der Mündung des Kleinen Beltes ablesen. Die Kurven sind für die Jahre 1937, 1938 und 1939 in der Abb. 3 wiedergegeben. Beim Passieren der Front sinkt der Salzgehalt zunächst bei Fehmarnbelt und darauf nach längerer Zeit auch bei Feuerschiff „Kiel“ und bei „Mommark“. Wir geben in der Tab. 2 eine Übersicht

Tabelle 2

Wanderungsgeschwindigkeit der Front durch die Kieler
Bucht bei langen Ausstromfällen

Datum	Die Front benötigt		Salzgehalts-Fall beim Passieren der Front bei		
	von „Fehmarnbelt“ bis „Kiel“ Tage	von „Fehmarnbelt“ bis „Mommark“ Tage	„Fehmarnbelt“ S ‰ ₀₀	„Kiel“ S ‰ ₀₀	„Mommark“ S ‰ ₀₀
1937					
Januar	18	15	20,8 — 8,8	20,4 — 16,0	19,8 — 17,2
Februar/März	18	22	21,1 — 10,6	17,8 — 16,2	16,5 — 14,5
April	22	15	17,7 — 9,5	16,8 — 14,8	16,8 — 12,9
April/Mai	29	23	15,5 — 8,5	14,9 — 13,5	14,8 — 12,2
Juli/August	10	15	18,6 — 8,8	16,5 — 10,5	15,9 — 12,9
Septemb./Oktob.	20	22	22,0 — 10,2	17,9 — 11,8	18,5 — 14,0
Dezember	24	15	19,6 — 10,5	18,2 — 14,6	18,8 — 14,0
1938					
April	7	11	21,5 — 8,1	20,1 — 14,9	21,0 — 14,0
Juni/Juli	19	33	17,9 — 8,2	16,0 — 10,2	15,8 — 12,0
Dezember	12	10	18,0 — 8,6	18,7 — 15,0	19,1 — 17,0
1939					
Februar/März	16	14	19,6 — 9,4	21,9 — 15,8	20,6 — 16,6
April/Mai	18	21	18,0 — 9,6	16,0 — 9,8	15,8 — 11,6

über die aus den Salzgehaltsgängen abgelesenen Zeiten, welche die Front zur Wanderung von Feuerschiff „Fehmarnbelt“ bis „Kiel“ bzw. „Mommark“ benötigt. Ferner ist jeweils der Abfall des Salzgehalts bei den drei Stationen beim Passieren der Front angegeben; daraus kann man deutlich die Abschwächung der Front beim Durchwandern der Kieler Bucht erkennen. Im folgenden sind die beiden Arten der Frontwanderung kurz gekennzeichnet.

Fall 1: Die Front erreicht zuerst das Feuerschiff „Kiel“ und erst mehrere Tage später die Mündung des Kleinen Belt. Ein besonders deutlicher Fall dieser Art ist in Abb. 3 a wiedergegeben (vgl. aber auch den Salzgehaltsgang Anfang Juli 1937 und Mai 1939 sowie viele andere Fälle, die aus dem Diagramm Abb. 2 zu entnehmen sind). Die Front dringt also vom Fehmarnbelt her zunächst in südwestlicher Richtung vor und erreicht die Gegend vor der Kieler Förde. Der nördliche Flügel schwenkt erst später nach Westen um. Das ist der häufigere Fall.

Fall 2: Bisweilen zeigt jedoch der Gang des Salzgehaltes bei „Kiel“ und „Mommark“, daß die Mündung des Kleinen Beltes zuerst von der Front erreicht wird. Ein solcher Fall im April 1937 ist als Ausschnitt aus dem Diagramm (Abb. 2) in Abb. 3 b dargestellt. Die salzarmen Wassermassen breiten sich also in diesem Falle vornehmlich im Nordteil der Kieler Bucht, also auf der geraden Verbindungslinie zwischen Fehmarn- und Kleinem Belt aus und gelangen trotz des längeren Weges zuerst zum Nordausgang der Kieler Bucht und erst später bei Feuerschiff „Kiel“ zur deutschen Küste. Dieser Fall ist in der schematischen Darstellung (Abb. 4) mit dem Stadium III b bezeichnet.

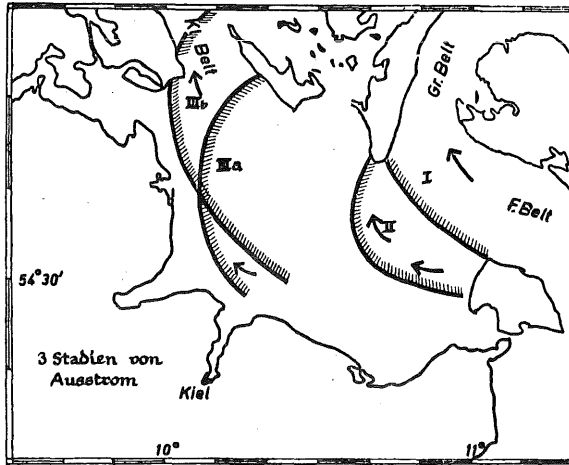


Abb. 4. Schematische Darstellung des Vorrückens einer Ausstromfront durch die Kieler Bucht.

B. Einstromfall.

Auf den normalen Zugstraßen von Westen nach Osten über Nordeuropa hinziehende Depressionen kennzeichnen die Wetterlage, die für Einstrom günstig ist. Die westlichen Winde drücken das Wasser aus der Nordsee ins Skagerrak und Kattegat und erzwingen gleichzeitig ein Abströmen aus der südwestlichen in die nördliche Ostsee. Durch den breiten Fehmarnbelt strömt nun dem Gefälle folgend zunächst solange Wasser aus der Kieler Bucht ab, bis Gleichgewicht zwischen den Niveaudifferenzen und Strömungen erreicht ist. Soweit ist der Einstromfall das einfache Gegenstück zum Ausstromfall. Bei dem nun einsetzenden zweiten Stadium strömt die Hauptmasse des aus dem Kattegat durch den Langelandbelt kommenden Wassers durch den Fehmarnbelt weiter, aber zugleich biegt der Strom auch — im Gegensatz zum Verhalten bei Ausstrom — in die Kieler Bucht ein und bringt einen beträchtlichen Teil der salzreichen Wassermassen schnell in unser Gebiet. Das ist wieder eine Folge der Erdrotation, denn für den durch den Langelandbelt von Norden nach Süden setzenden Strom ist nach Passieren der Südspitze der Insel der Weg nach rechts (von der Stromrichtung aus gesehen) in die Kieler Bucht offen (Abb. 5).

Unter unsern Ausfahrten wird man allerdings nicht viele Beispiele für diese Situation finden. Das hat zwei Gründe: Erstens kommen Tage mit ausgesprochenen und nicht zu kurz dauernden Einstromfällen viel weniger häufig vor als Ausstromfälle, wie an anderer Stelle näher dargelegt wurde⁴⁾, und zweitens sind im allgemeinen Einstromfälle mit starken bis stürmischen Westwinden verknüpft, die bei Ausfahrten mit kleinen Schiffen gern vermieden werden.

Dieses schnelle Eindringen des Einstromwassers in die Kieler Bucht einerseits, das langsame Fortschreiten der Ausstromfront andererseits hat wichtige Folgen

⁴⁾ H. WATTENBERG, a. a. O.

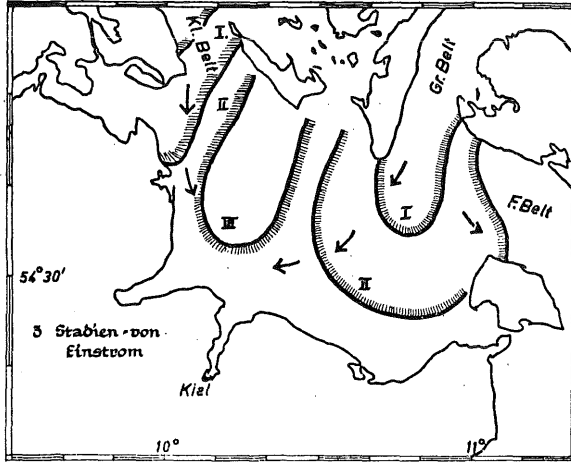


Abb. 5. Schematische Entwicklung einer Einstromlage in der Kieler Bucht.

für den Gang des Salzgehalts in der inneren Kieler Bucht, wie er bei Feuerschiff „Kiel“ beobachtet wird. Der Salzgehalt sinkt nämlich in den inneren Gebieten nur einen Bruchteil der Zeitdauer des jeweiligen Ausstromfalles auf ein niedrigeres Niveau, da es sehr lange dauert, bis das salzarme Wasser Feuerschiff

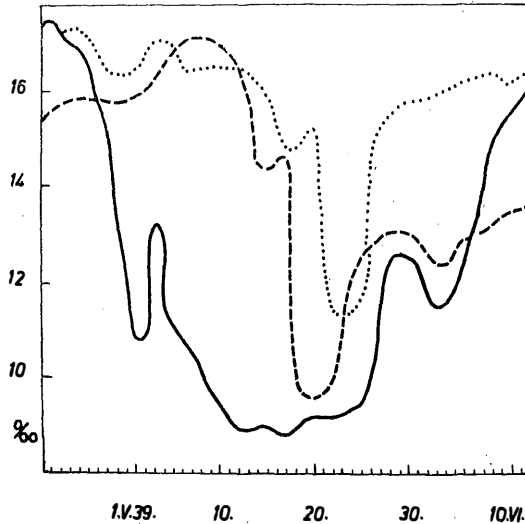


Abb. 6. Salzgehaltsgang bei „Fehmarnbelt“ (—), „Kiel“ (---) und „Mommark“ (.....) im Mai 1939. (Etwas ausgeglichen).

„Kiel“ erreicht, aber beim Umschlagen zur Einstromlage schon sehr bald erneut salzreiches Wasser nachströmt. Häufig zieht sich die Front bereits beim Abflauen des Ausstromes, bald nachdem sie „Kiel“ erreicht hat, schon wieder zurück, so daß dieses Feuerschiff aus ihrem Bereich kommt und der Salzgehalt noch während der Dauer des Ausstromfalles plötzlich wieder ansteigt. Beispiele für diese Situation finden wir in den Salzgehaltsdiagrammen (Abb. 2) im März, Mai, Juni, August 1937 und Februar 1938. Ein weiterer, besonders ausgeprägter Fall dieser Art im Mai 1939 ist in Abb. 6 dargestellt.

In diesem Falle ist also das Wiederansteigen des Salzgehalts bei Feuerschiff „Kiel“ durch das Vordringen salzreichen Wassers von Westen und Südwesten her bedingt, dessen Ursache im einzelnen noch genauer zu erforschen ist.

Bisweilen tritt beim Umschlagen eines Ausstromes zu Einstrom etwas zunächst ganz Unerwartetes ein: bei Feuerschiff „Kiel“ fällt der Salzgehalt, während er gleichzeitig, wie zu erwarten, im Fehmarnbelt sehr kräftig ansteigt (vgl. Abb. 7). Offenbar schiebt in solchen Fällen das im Langelandbelt vordringende Kattegatwasser das im Nordteil der Kieler Bucht noch von der vorhergehenden Ausstromlage her befindliche salzarme Wasser vor sich her und drängt es weiter in die Kieler Bucht hinein, als es bei dem Ausstrom wegen der erwähnten Wirkung der Erdrotation gelangen konnte. Wir haben also hier den paradoxen Fall, daß Einstrom zunächst salzarmes Wasser in die Nähe der deutschen Küste bringt.

Die bisher besprochenen Wirkungen von Einstrom auf die Salzgehaltsverteilung in der Kieler Bucht beziehen sich auf normale, nicht zu lange andauernde Ein-

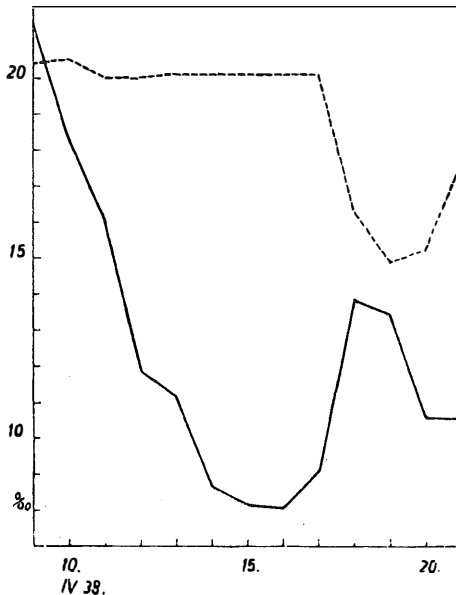


Abb. 7. Salzgehaltsgang bei „Fehmarnbelt“ und „Kiel“ vom 9. bis 21. III. 1938.

stromfälle. In jedem Fall entsteht dabei im mittleren Teil der Kieler Bucht ein Salzgehaltsminimum verschiedener Ausdehnung und Gestalt, da im Westen der Bucht der Salzgehalt mit der Annäherung an die Mündung des Kleinen Belts immer stark ansteigt.

Anders ist die Wirkung einer der langen Einstromperioden, welche imstande sind, das normale Bild der Salzgehaltsverteilung in der Kieler Bucht gänzlich umzugestalten. Das sind dieselben Fälle, die Schübe von Kattegatwasser durch die ganze Mecklenburger Bucht bis über die Darßer Schwelle in die Ostsee gelangen lassen. Dann wird auch die gesamte Kieler Bucht von salzreichem Wasser erfüllt.

Trotzdem bleibt auch dann noch meistens ein schwaches Salzgehaltsminimum in der Mitte oder in der westlichen Hälfte der Bucht erhalten, da gleichzeitig mit dem Hauptzustrom salzreichen Wassers durch den Langelandbelt auch Kattegatwasser in den Kleinen Belt eindringt. Als Beispiele nennen wir die starken Einstromfälle im August und Oktober 1938, die den Einfluß des Zustroms aus dem Kleinen Belt besonders deutlich aufweisen (Abb. 2). Bei Einstrom hat nämlich der Kleine Belt viel stärkeren Anteil an der Salzgehaltsverteilung der Kieler Bucht als bei Ausstrom, da bereits im Kattegat das aus der Nordsee kommende Wasser an der Jütländischen Küste am stärksten vordringt und somit zuerst ins Mündungsgebiet des Kleinen Belt gelangt. Dagegen fließen bekanntlich bei Ausstrom die salzarmen Wassermassen der Ostsee vorwiegend an der schwedischen Küste, also durch den Sund ab. Die Wirkung des Kleinen Belts wird also bei Einstrom dadurch begünstigt, daß das Wasser in den Kleinen Belt bereits mit höherem Salzgehalt eintritt als in den Großen Belt. Nehmen wir als Maßstab die Mittelwerte des Salzgehalts an den Nordausgängen des Kleinen Belts (Middelfahrt) (19,6 ‰), und des Großen Belts (Kysthospital) (15,4 ‰) so finden wir eine ganz beträchtliche Salzgehaltsdifferenz. Bei länger dauernden Einstromfällen gleichen sich diese Unterschiede allerdings etwas aus, da der stärkere Abfluß durch den Großen Belt Wasser mit schnell steigendem Salzgehalt in seinem Bereich nachdringen läßt.

C. A u f e i n a n d e r f o l g e v o n E i n - u n d A u s t r o m f ä l l e n .

Da die Fronten mit solcher Langsamkeit die Kieler Bucht durchqueren — braucht die Ausstromfront doch im Durchschnitt drei Wochen vom Fehmarnbelt bis zum Kleinen Belt —, so wird häufiger der Fall eintreten, daß neue Fronten in die Kieler Bucht eindringen, während eine alte Front noch im westlichen Teil der Bucht liegt. Da sowohl Einstrom wie Ausstrom im wesentlichen von derselben Seite her — nämlich von Nordosten durch die Öffnung zwischen Langeland und Fehmarn — in die Kieler Bucht gelangen, so handelt es sich in der Kieler Bucht also nicht um ein einfaches Hin- und Herwandern der die Grenze zwischen salzarmen und salzreichen Wasser kennzeichnenden Front, sondern es tritt jedes Mal eine Ablösung eines selbständigen Frontteiles in dem Augenblick ein, in dem die Front aus dem Fehmarnbelt (bei Ausstrom) oder aus dem Langelandbelt (bei Einstrom) in die Kieler Bucht eindringt. Man sollte nun eigentlich erwarten, daß dadurch schnell eine gegenseitige Vernichtung der Fronten eintritt. Wenn jedoch die Fronten in nicht zu kurzen Abständen nacheinander die Kieler Bucht erreichen, so sind sie auch später noch deutlich getrennt voneinander zu erkennen.

Eine bereits weit in die Kieler Bucht hineingewanderte Ausstromfront weist eine besondere Beständigkeit auf. Folgt nun ein Einstromfall, so haben wir zunächst eine der in Abb. 5 dargestellten Situationen. Einen Sonderfall dieser Art, der auf der Ausfahrt 16 angetroffen wurde, ist in Abb. 8 schematisiert wiedergegeben. Im Westteil der Bucht liegt eine alte Ausstromfront, die in der Zeit von Ende April bis zum 17. Mai entstanden war. Am 18. V. setzte Einstrom ein und

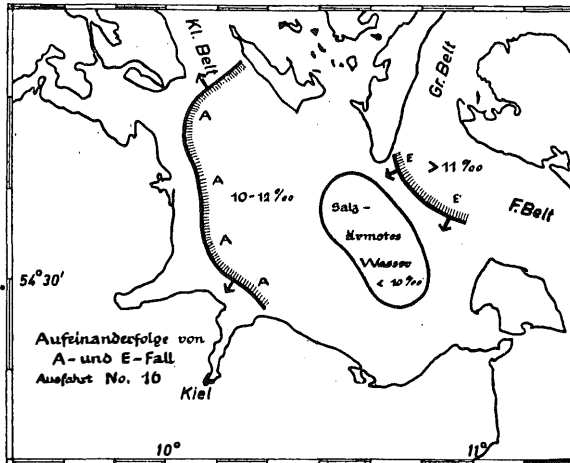


Abb. 8. Schematische Darstellung der hydrographischen Situation auf Ausfahrt Nr. 16.

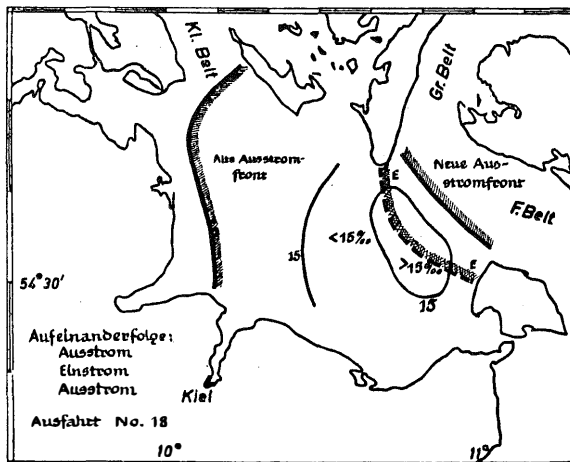


Abb. 9. Schematische Darstellung der hydrographischen Situation auf Ausfahrt Nr. 18.

riegelte im mittleren und östlichen Teil das salzärmere Wasser hinter der Ausstromfront ab, das somit ein inselartiges Gebiet minimalen Salzgehaltes bildet.

Folgt nun auf einen Einstromfall wieder ein neuer Ausstrom, der mit seiner Front die Nordostöffnung der Kieler Bucht erreicht, so wird erneut Wasser, diesmal salzreicher, abgeriegelt werden, so daß sogar abwechselnd ein Minimum und ein Maximum nebeneinander entstehen können. Eine solche Lage wurde auf Ausfahrt Nr. 18 beobachtet, deren Ergebnis in Abb. 9 schematisiert dargestellt ist. Wieder liegt im Westteil eine alte Ausstromfront, die durch eine schwächere Einstromlage am 10. VII. abgelöst wurde. Dieses Einstromwasser hatte einen Salzgehalt von etwas über 15‰. Im Anschluß an diesen vier Tage dauernden Einstrom schlug die Stromlage wieder in Ausstrom um, und bereits vier Tage nach seinem Beginn fand die Ausfahrt statt, auf der die Salzgehaltsverteilung ermittelt wurde. Die neue Ausstromfront liegt daher noch vor dem Eingang zur eigentlichen Kieler Bucht zwischen Langeland und Fehmarn. So finden wir in der Kieler Bucht nebeneinander die Spuren eines doppelten Wechsels in der Stromlage abgebildet, der sich im Verlauf von Wochen abgespielt hatte.

D. Beziehungen zu Vorgängen in der Tiefe.

Die Analyse des Salzgehaltsganges an drei Punkten der Kieler Bucht zusammen mit den Ergebnissen von zwölf Untersuchungsfahrten hat somit eine eingehende Vorstellung von den in der Kieler Bucht vorkommenden hydrographischen Situationen vermittelt. Sie hat uns darüber hinaus erlaubt, die Entwicklung der Salzgehaltsverteilung auf die Stromverhältnisse zurückzuführen, deren Abhängigkeit von der Großwetterlage bereits in einer vorhergehenden Arbeit näher behandelt wurde. Wir konnten die Salzgehaltsverteilung in der Kieler Bucht am einfachsten als Folge der Verschiebung der hydrographischen Front verstehen, die das salzarme Wasser der Ostsee von den salzreichen aus der Nordsee stammenden Wassermassen trennt.

Bei den Ausfahrten wurden selbstverständlich wie üblich an jeder Station auch vertikale Serien (im Abstand von 5 m Tiefe) durchgeführt, die in Vertikalkurven und -Schnitten sowie Tiefenkarten bearbeitet wurden, so daß auch die Vorgänge in der Tiefe einer eingehenderen Untersuchung zugänglich sind. Wir haben jedoch einstweilen auf eine Darstellung dieses Materials verzichtet, weil das Wandern der Front an der Oberfläche, wie wir es hier verfolgt haben, die hydrographischen Vorgänge im Übergangsgebiet am besten kennzeichnet, und zwar aus folgenden Gründen: Infolge der Schmalheit und Länge der Verbindungsstraßen ist die Lage der Front außerordentlich empfindlich gegen äußere Einwirkungen. Die engen Kanäle wirken gewissermaßen wie dünne Manometerröhren, in denen die Flüssigkeit auf Druckänderungen in dem großen Ostseebecken leicht reagiert. Die Front wandert infolgedessen schon bei kurzer Dauer einer bestimmten Wetterlage über längere Strecken. Wegen der Flachheit der Schwellen und überhaupt des ganzen Gebiets ist außerdem der reine Gradientstrom des Tiefenwassers in die Ostsee hinein sehr schwach und wird durch äußere Einwirkungen leicht ganz unterbunden. Wesentlicher Einstrom findet vielmehr nur dann statt, wenn durch die Großwetterlage die Front bis über die Schwellen gedrückt wird und somit das ganze

Gebiet von salzreichem Wasser bis an die Oberfläche erfüllt ist. Es sinkt dann an der Front unmittelbar Oberflächenwasser über die Schwellen in die Tiefe.

Wollen wir uns schematisch Vorstellung von den Vorgängen in den tieferen Schichten beim Wandern der Front machen, so mag die Abb. 10 als Anhalt dienen:

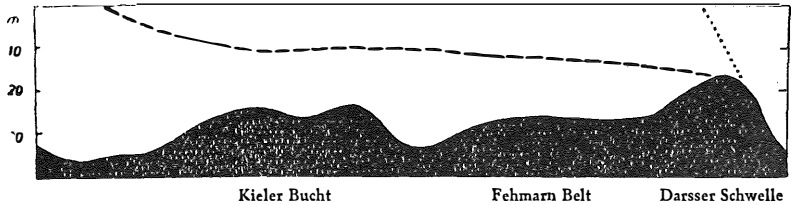


Abb. 10. Lage der Sprungschicht in einem Längsschnitt von der Mündung des Kleinen Belts bis zur Darßer Schwelle nach einem langen Ausstromfall (---) Ausfahrt 9) und bei Einstrom (. Ausfahrt 12).

In der Tiefe liegt die Sprungfläche im allgemeinen mit ihrem der Ostsee zugewandten Ende bei den eigentlichen Schwellen (Darßer und Drogenschwelle) fest, da sie sich nicht weiter hinaus in die Ostsee fortsetzen kann — abgesehen von den Fällen, in denen das Tiefenwasser die Schwelle überschreitet. An der Oberfläche dagegen pendelt sie als Front zwischen diesen Schwellen und dem südlichen Kattegat hin und her, wobei sich gleichzeitig ihre Neigung ändert. Wie man sieht, wird durch das Verfolgen der Front an der Oberfläche das Wesentliche der hydrographischen Vorgänge erfaßt.

