

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.

Typen der Salzgehalts- und Temperaturschichtung in der Kieler Förde

Von R. KÄNDLER

(4. Beitrag über langfristige Beobachtungen in der Kieler Förde)

Zusammenfassung. Es wird der Versuch unternommen, an Hand von 84 Längsschnitten durch die Kieler Förde in den Jahren 1952—57 die vorherrschenden Schichtungstypen in ihrer Abhängigkeit von der Wetterlage darzustellen. Durch Mittelbildungen aus allen Salzgehaltsbeobachtungen wird ein Bild der mittleren Schichtungsverhältnisse gewonnen. Der Einfluß der Jahreszeiten auf die thermohaline Schichtung geht aus den mittleren Verhältnissen im Februar, Mai, Juli, Oktober und Dezember hervor. Sie sind gegen den Frühling und Sommer zu durch zunehmende vertikale Gradienten, gegen Herbst und Winter durch abnehmende Schichtung infolge stärkerer Durchmischung im Stromgebiet der Belte und durch fortschreitende Abkühlung charakterisiert. Um die Einwirkungen der Großwetterlage zu zeigen, werden die Schichtungsverhältnisse an 16 ausgewählten Beispielen erörtert, die von den mittleren Verhältnissen stärker abweichen und die Einflüsse der drei Hauptwetterlagen — sommerliche Hochdrucklage, Westwetterlage, Ostwetterlage — klar erkennen lassen. Zur Klärung der Zusammenhänge mit der vorausgegangenen Witterung werden meteorologische und hydrographische Faktoren — Oberflächentemperatur und -salzgehalt sowie Wasserstand im Kieler Hafen, örtlicher Luftdruck, nordsüdlicher Luftdruckgradient und vorherrschende Winde — herangezogen und z. T. miteinander korreliert. Die Unterschiede in der zeitlichen Folge der Schichtungstypen während der witterungsmäßig voneinander abweichenden Jahre 1952 und 1953 (Winter-Frühjahr) sowie 1954 und 1955 (Sommer—Herbst) werden an Isoplethendiagrammen dargestellt.

Types of the thermohaline stratification in the Kiel Fjord (Summary). By means of 84 longitudinal sections through the Kiel Fjord in the years 1952—57 the prevailing types of stratification and their dependence on the weather conditions are shown. By averaging all data a picture of the mean salinity stratification is given. The influence of the seasons on the thermohaline stratification is shown by the mean conditions in February, May, July, October, and December. All along the spring and summer they are characterized by increasing vertical gradients, while during autumn and winter, by decreasing stratification due to mixing processes taking place in the Belt region, and to progressive cooling of the water. The influences of meteorologic factors are exemplified by 16 longitudinal sections obtained at certain days in the course of the years and deviating from the average monthly conditions. This clearly shows the effects of the three main weather situations (high air pressure in summer time, west wind situation, and east wind situation). To throw light upon the relation with the preceding meteorologic and hydrographic conditions, some factors are discussed and partly correlated (surface temperature and salinity, water level in the Kiel harbour, local air pressure, north-southern air pressure gradient, predominant winds). The differences in the successive salinity and temperature layering during certain years heavy differing by weather conditions are demonstrated by diagrams of isopleths (winter—spring 1951/52 and 1952/53, sommer—autumn 1954 and 1955).

Einleitung

Die folgenden Ausführungen schließen sich unmittelbar an die Darlegungen an, die in Band 15, Heft 2 dieser Zeitschrift über „Hydrographische Beobachtungen in der Kieler Förde 1952—57“ veröffentlicht sind. Dort finden sich nähere Angaben über Anlage und Ziel dieser sich über 6 Jahre erstreckenden Terminbeobachtungen an 3 Stationen in der Kieler Förde, anfangs zweimal, später einmal im Monat, an denen in 1 m, 5 m, 10 m, 12,5 m und 1 m über dem Boden Wasserproben genommen wurden. In der obengenannten Arbeit wird über die Jahresgänge von Temperatur und Salzgehalt und die Unterschiede zwischen den einzelnen Jahren berichtet, wobei vor allem die Beobachtungen in 1 m und Bodennähe an den Stationen I und III verwertet worden sind. Die jahreszeitlichen Veränderungen der Temperatur- und Salzgehaltsschichtung werden in Isoplethendiagrammen dargestellt, denen die gemittelten Monatswerte aus den ver-

schiedenen Beobachtungstiefen zugrunde liegen. Obwohl es von Anfang an mit ein Ziel dieser Untersuchungen war, einen Einblick in die thermohaline Schichtung in der Kieler Förde in Abhängigkeit von der Wetterlage zu erhalten, wurde doch zunächst von einer Auswertung der Beobachtungen in dieser Hinsicht abgesehen, da vermutet wurde, daß die Veränderungen in den Schichtungsverhältnissen oft kurzfristig erfolgen und durch langabständige Beobachtungen schwerlich ein Einblick in die Genese der angetroffenen Zustände erhalten werden könne. Die eingehende Durcharbeitung des Beobachtungsmaterials legte jedoch nahe, trotz dieser Bedenken den Versuch zu unternehmen, die im Verlauf der 6 Jahre erhaltenen 84 Aufnahmen zu prüfen, ob sie nicht doch Gesetzmäßigkeiten und Beziehungen zur Wetterlage erkennen lassen. Bereits die abgebildeten Isolethendiagramme des mittleren Jahresganges von Temperatur und Salzgehalt (1959, Tafel 13, S. 150) geben eine Vorstellung von den jahreszeitlichen Veränderungen der Schichtungsverhältnisse. Auch der sehr beträchtliche Arbeitsaufwand bei Entnahme und Analyse der Wasserproben rechtfertigt diesen Versuch, wenn es auch gewagt erscheinen mag, ohne genauere Kenntnisse der jahreszeitlichen und meteorologischen Abhängigkeit der Schichtungsverhältnisse in der vorgelagerten Kieler Bucht und deren Zusammenhang mit den Vorgängen in den Belten derartige Beziehungen für eines ihrer Anhängsel, für die Kieler Förde, aufzustellen. Hinzu kommt, daß der mit neuartigen Registriergeräten erfolgte Nachweis interner Wellen in der Ostsee (W. KRAUSS 1960) gewisse Zweifel aufkommen läßt, ob die in herkömmlicher Weise erhaltenen Serienbestimmungen ein zuverlässiges Bild der Schichtung ergeben. Ich hoffe, daß die folgenden Darlegungen mit zum Anlaß werden, die hier angeschnittenen Fragen mit modernen Untersuchungsgeräten und in großzügiger Planung für den Bereich der Kieler Bucht einer Lösung näher zu führen, als dies bei den Terminuntersuchungen der Jahre 1952—57 möglich war, bei denen ein biologisches Interesse an der Beschaffenheit des Lebensraumes der Kieler Förde vorwaltete.

Mittlere Schichtungsverhältnisse

Um die durchschnittlichen Salzgehaltsverhältnisse in der Kieler Bucht festzustellen, wurden zunächst alle Beobachtungen aus dem Zeitraum von November 1951 bis Januar 1958 monatlich und diese Monatsmittel wiederum unter sich gemittelt. Das an Hand dieser 6-Jahres-Mittelwerte hergestellte Längsprofil des Salzgehaltes ist in Tafel 1, Abb. 1 dargestellt. Es erstreckt sich vom Süden der Förde durch die Enge bei Friedrichsort entlang der tiefsten Rinne bis in den Seebereich vor der Kieler Außenförde (vgl. R. KÄNDLER 1959, Tafel 11, S. 146, und Tabelle 1, S. 150—151). Im Mittel ergibt sich eine Zunahme des Salzgehaltes von $> 16\text{‰}$ an der Oberfläche (1 m) bis 19‰ am Boden der inneren Förde (innerhalb der Enge von Friedrichsort) und 20‰ am Grunde der Außenförde. Der Süßwasserzufluß aus der Schwentine macht sich in einer Erniedrigung des Oberflächensalzgehaltes besonders bei Stat. II (Möltenort) und auch bei Stat. I (Seegarten) gegenüber Stat. III (Tonne A querab Bülk) bemerkbar, was in einer Einsenkung der 17‰ -Isohaline und einem isolierten Auftreten der 16‰ -Linie bei Stat. II zum Ausdruck kommt. Der Salzgehaltsgradient beträgt im Mittel rd. $0,2\text{‰/m}$; er nimmt mit der Tiefe zu, die Isohalinen für 17, 18 und 19‰ liegen in 5—6, 11 und 15 m Tiefe. Dieser Schichtungstyp ist nicht etwa nur ein abstraktes Mittelbild, er kommt tatsächlich vor und wurde in der Beobachtungszeit etwa sechsmal angetroffen, vorwiegend in den ersten Monaten des Jahres. In der großen Mehrzahl der Fälle weicht die Schichtung jedoch mehr oder weniger stark hiervon ab, und die Frage liegt nahe, ob sich die Verhältnisse zu den verschiedenen Jahreszeiten unterschiedlich gestalten.

Februar. Wir beginnen zweckmäßig mit dem Februar als dem in der Regel kältesten Monat des Jahres. Für die Mittelbildung stehen 6 Aufnahmen zur Verfügung,

denen eine weitere vom 5. März 1954 mit Wassertemperaturen um 0° als Ersatz für die fehlende Aufnahme im Februar dieses Jahres zugefügt wurde. Die mittleren Wassertemperaturen liegen bei $1,4$ — $1,9^{\circ}$, die vertikalen Differenzen sind sehr gering, ein Landeinfluß im inneren Hafenbecken ist an etwas höheren Wassertemperaturen spürbar (Tafel 1, Abb. 2). Der Verlauf der Isohalinen läßt einen Anstau von Schwentinewasser im Innern der Förde erkennen, wo infolge des stärker ausgesüßten Oberflächenwassers der im Winter sehr geringe mittlere vertikale Salzgehaltsgradient — bei Stat. III nur $0,1^{\circ}/_{00}/m$ — verstärkt wird. Die $19^{\circ}/_{00}$ -Isohaline liegt in 10 — 11 m Tiefe, mithin 4 — 5 m höher als im Jahresmittel. Die einzelnen Aufnahmen ergaben recht unterschiedliche Temperatur- und Salzgehaltsverhältnisse, an der Oberfläche (1 m) zwischen $-0,3$ und $3,4^{\circ}$ sowie zwischen $14,5$ und $22,0^{\circ}/_{00}$, über dem Boden zwischen 0 und $3,5^{\circ}$ sowie zwischen $17,0$ und $24,7^{\circ}/_{00}$. Allen sind jedoch relativ geringe Differenzen zwischen Oberfläche und Boden gemeinsam, die kaum über $\pm 1^{\circ}$ und 3 — $4^{\circ}/_{00}$ hinausgehen.

Mai. Infolge des gesteigerten Ausstromes der Schmelzwässer von den Gebirgen Skandinaviens erreicht der Salzgehalt des Oberflächenwassers in der westlichen Ostsee am Ausgang des Frühjahrs sein Minimum. So zeigt auch das aus 7 Aufnahmen im Mai erhaltene Mittelbild (Tafel 1, Abb. 3) einen beträchtlichen Rückgang des Salzgehaltes gegenüber dem Zustand am Ausgang des Winters, etwa um $3^{\circ}/_{00}$. Im Bereich der Stat. II wird an der Oberfläche $14^{\circ}/_{00}$ unterschritten, die $15^{\circ}/_{00}$ -Linie liegt in 8 m, die $16^{\circ}/_{00}$ -Linie in 12 — 13 m Tiefe. Der mittlere vertikale Salzgehaltsgradient ist auch jetzt noch gering, er bleibt in der inneren Förde unter $0,2^{\circ}/_{00}/m$. Die Erwärmung der oberen Wasserschichten hat innerhalb 3 Monate zu einer thermischen Schichtung geführt, die durch Mitteltemperaturen $> 11^{\circ}$ an der Oberfläche und von 6 — 7° am Boden sowie durch einen Temperaturgradienten von $0,3$ — $0,4^{\circ}/m$ charakterisiert ist. Der Einfluß des Schwentinewassers ist wiederum deutlich. Die Einzelaufnahmen zeigen keine so großen Salzgehaltsunterschiede wie im Februar; an der Oberfläche variiert er zwischen $11,9$ und $16,4^{\circ}/_{00}$, über dem Boden zwischen $15,3$ und $20,4^{\circ}/_{00}$. Die Temperaturschwankungen halten sich an der Oberfläche in dem Bereich, der der Erwärmung im Verlauf dieses oft sonnenreichen Monats entspricht ($8,6$ — $13,4^{\circ}$), über dem Boden wirken sich die winterlichen Temperaturen länger aus ($4,4$ — $8,0^{\circ}$).

Juli. Die sommerliche Erwärmung des Oberflächenwassers der Förde erreichte in der Berichtszeit im Monat Juli bereits ihr Maximum, bedingt durch die Einflüsse von Land und die Witterung, die sich in der Regel bereits ab August wieder sehr wechselhaft gestaltet. Das Mittelbild (Tafel 2, Abb. 4) weist gegenüber Mai eine Zunahme der thermohalinen Schichtung auf, die Isolinien drängen sich mit zunehmender Wassertiefe, und insbesondere die Isohalinen blättern sich in charakteristischer Weise fördeeinwärts auf. Die $15^{\circ}/_{00}$ -Isohaline steigt von 7 m in der Außenförde auf $3,5$ m in der Innenförde an, die von $18^{\circ}/_{00}$ fällt von 12 auf 14 m ab, $20^{\circ}/_{00}$ wird in 15 — 16 m überschritten. Unter einer bis auf 17° erwärmten Oberschicht von 5 m Mächtigkeit fallen die Temperaturen rasch ab mit einem Gradienten von $0,7^{\circ}/m$. Der Mittelbildung liegen 8 Aufnahmen zugrunde, die z. T. recht unterschiedliche Situationen darstellen. Die Temperaturen schwanken zwischen $12,5$ und $22,4^{\circ}$ in 1 m Tiefe und zwischen $8,2$ und $14,6^{\circ}$ am Boden, bei Temperaturdifferenzen zwischen Oberfläche und Boden von $2,4$ — $10,5^{\circ}$. Die Variationen im Salzgehalt sind ebenfalls erheblich, er beträgt an der Oberfläche $11,9$ — $18,5^{\circ}/_{00}$,

Legenden zu den nebenstehenden Abbildungen (Tafel 1)

Abb. 1: Mittlere Salzgehaltsschichtung in der Kieler Förde 1952—57.

Abb. 2: Mittlere Salzgehalts- und Temperaturschichtung in der Kieler Förde im Februar.

Abb. 3: Desgl. im Mai.

über dem Boden 13,5—24,6‰, wobei vertikale Differenzen von 2,5—8,1‰ in der Innenförde auftreten.

Oktober. In diesem Monat wird infolge fortschreitender Abkühlung der oberen Wasserschichten und Mischungsvorgängen der herbstliche Zustand der Homothermie bei einer mittleren Wassertemperatur um 11,5° erreicht (Tafel 2, Abb. 5). Zugleich ist der Salzgehalt gegenüber Juli sehr erheblich angestiegen und die Schichtung vermindert. Während die 20‰-Isohaline weiterhin in 16 m Tiefe verharret, ist die 19‰-Linie von 13—14 m auf 11—12 m und diejenige von 18‰ von 12—14 m auf 6 m angehoben worden. Dadurch ist der vertikale Salzgehaltsunterschied auf 2,0—2,3‰ zurückgegangen und eine Salzgehaltsverteilung erreicht, die der vom Februar ähnelt. Die bei den 9 Einzelaufnahmen beobachteten unterschiedlichen Wassertemperaturen an der Oberfläche liegen im Bereich des im Verlauf des Monats auftretenden Temperaturabfalles (14,4 bis 8,0°); im Bodenwasser schwankt die Temperatur innerhalb ähnlicher Grenzen (13,9—8,3°). Die Abkühlung kann bereits Anfang des Monats zur Temperaturumkehr führen, im Mittel bleibt die Wassertemperatur an der Oberfläche um 0,3—0,6° gegenüber der am Boden zurück. Die zunehmende Vermischung der Wassermassen kommt auch in der relativ geringen vertikalen Salzgehaltsdifferenz zum Ausdruck, die in 4 Fällen unter 2‰ bleibt und nur in 2 Fällen 4‰ überschreitet. Dabei treten an der Oberfläche Werte zwischen 15,8 und 21,0‰, über dem Boden solche von 16,5—22,7‰ auf.

Dezember. Spätherbst und Winteranfang sind durch ständig absinkende Temperaturen und zunehmende Vermischung der Wassermassen gekennzeichnet. Das aus 6 Aufnahmen in der 2. Dezemberhälfte gewonnene Mittelbild (Tafel 2, Abb. 6) weist Wassertemperaturen um 5° auf, dabei etwas höhere Werte im inneren Hafenbecken und, wie zu erwarten, einen leichten Temperaturanstieg zum Boden um 0,2—0,3°. Der Verlauf der Isohalinen deutet wieder einen Stau des Schwentinewassers an. Der Salzgehaltsanstieg zum Boden hin ist sehr gering, er beträgt im Mittel nur 0,8‰, im Bereich des Schwentinewassers 1,8‰. Die Werte der 6 Einzelaufnahmen streuen nur mäßig, wenn man von den Extremwerten vom Dezember 1951 absieht (vgl. S. 169). Die Salzgehalte schwanken zwischen 14,9 und 19,6‰ (1 m) sowie zwischen 15,8 und 20,5‰ (Boden), die vertikale Salzgehaltszunahme bleibt meist unter 2‰, in mehreren Fällen herrscht nahezu Homohalinie.

Einflüsse der Großwetterlage auf die Schichtung

Es liegt nahe, die jahreszeitlichen Veränderungen der Salzgehaltsschichtung in der Kieler Förde, die bereits aus den Isoplethendiagrammen des mittleren Jahresganges (R. KÄNDLER 1959, Tafel 13, S. 150) abgelesen werden können und hier anschaulich an Längsschnitten aus Mittelwerten der Monate Februar, Mai, Juli, Oktober und Dezember aufgezeigt werden, mit den Witterungsverhältnissen in Beziehung zu setzen, die den Wasseraustausch zwischen Nord- und Ostsee steuern und damit auch die Zustände in der Kieler Bucht und in ihren Förden bestimmen. Hier spiegeln sich die Vorgänge wider, die in der Stromrinne des Großen Beltes und Fehmarnbeltes unter den Einflüssen der Jahreszeiten und des Wechsels der Großwetterlage über dem nordeuropäischen Raum ablaufen (H. WATTENBERG 1941, 1949; R. KÄNDLER 1951). Die exzen-

Legenden zu den nebenstehenden Abbildungen (Tafel 2)

Abb. 4: Mittlere Salzgehalts- und Temperaturschichtung in der Kieler Förde im Juli.

Abb. 5: Desgl. im Oktober.

Abb. 6: Desgl. im Dezember.

trische Lage der Kieler Bucht, an deren Nordostecke die Belte rechtwinklig aufeinander stoßen, so daß Zu- und Abfluß der Wassermassen an derselben Stelle erfolgen, wenn man von dem nur in Ausnahmefällen stärker zum Zuge kommenden Durchfluß durch den Kleinen Belt absieht, und die Schwelle von 13—15 m, die die Kieler Förde von der Kieler Bucht abriegelt, bedingen, daß die Vorgänge in den Belten abgeschwächt und abgewandelt mit einer erheblichen Phasenverschiebung auch die Kieler Förde beeinflussen, wobei die Salzgehaltshorizonte durch die ablenkende Kraft der Erdrotation und Aufquellerscheinungen infolge ablandiger Winde westwärts angehoben werden. Das von Osten durch die Belte abfließende schwachsalzige Ostseewasser und das im Unterstrom von Norden eindringende starksalzige Nordseewasser sowie die vielfältigen Mischungen beider Wasserarten, die in dieser Meeresstraße und den angrenzenden weiten Meeresräumen gebildet werden, erfüllen und durchströmen langsam auch die Kieler Bucht. Hier ist die Dichteschichtung trotz der geringen mittleren Tiefe von etwa 20 m offensichtlich recht stabil, sie wird weniger durch wind- und strömungsbedingte Turbulenz beeinflußt als vielmehr durch Windstau und Abdrift, die Wasserstandsschwankungen, Verschiebungen der das Ostseewasser gegen das Mischwasser abgrenzenden „Beltseefront“ und Verlagerungen der Salzgehaltshorizonte verursachen. So hat die Wetterlage einen doppelten Einfluß auf die thermohaline Schichtung in der Kieler Bucht, indem sie einmal die Wasserführung in den Belten bestimmt und zum andern auch den Ein- und Abstrom der geschichteten Wassermassen in der Kieler Bucht steuert. Natürlich hängen beide Vorgänge eng miteinander zusammen, wir ermangeln jedoch jetzt noch eines tieferen Einblickes in die Vorgänge in der Kieler Bucht und müssen deshalb versuchen, die Vorgänge in der Kieler Förde allein an Hand einiger ausgewählter konkreter Beispiele zu deuten. Die Unterschiede zwischen den soeben erörterten mittleren Schichtungsverhältnissen im Ablauf des Jahres werden verständlich, wenn man die Auswirkungen der jeweils vorherrschenden Witterungsbedingungen insbesondere auf die Salzgehaltsverteilung untersucht. Drei Hauptwetterlagen sind es vor allem, die tief in die Austauschvorgänge zwischen Nord- und Ostsee eingreifen und deren Auswirkungen direkt und indirekt in der Kieler Förde bemerkbar werden:

1. Flache Luftdruckverteilung mit schwachen Winden, eine Begleiterscheinung namentlich von sommerlichen Hochdruckwetterlagen, begünstigt die Ausbildung einer scharfen Sprungschicht zwischen Ostseewasser und Kattegatwasser, und diese ausgeprägte thermohaline Schichtung gibt dem für die Kieler Förde dargestellten Juli-Mittel das charakteristische Gepräge.

2. Die zu allen Jahreszeiten auftretende, jedoch im Herbst und Winter besonders rege Wirbeltätigkeit über dem nordeuropäischen Raum verursacht durch oft stürmische Westwinde verstärkten Einstrom von Kattegatwasser sowie ein Zurückdrängen des Ostseewassers und damit der Beltseefront. Dadurch steigt der Salzgehalt in den Belten, und die Sprungschicht wird durch Mischungsvorgänge in zunehmendem Maße aufgelöst, was sich gleicherweise bis in die Kieler Förde auswirkt, wie die geringe Schichtung im Längsschnitt vom Oktober und in noch höherem Maße vom Dezember erkennen läßt.

3. Ostwetterlagen, wie sie ein starkes Luftdruckgefälle in nordsüdlicher Richtung im nordeuropäischen Raum mit sich bringt, wirken in entgegengesetzter Richtung, sie führen durch Windstau in der westlichen Ostsee zu einem verstärkten Abfluß ins Kattegat, einem Vordringen des Ostseewassers und damit der Beltseefront und zu einer Abnahme des Salzgehaltes in den Belten, was sich jedoch in der Kieler Förde in den Mittelwerten vom Februar nicht sichtbar auswirkt. Eher dürften die häufigen, länger anhaltenden Ostwindperioden im Frühjahr die Ausbreitung des durch die Belte infolge Abschmelzens der skandinavischen Schneemassen verstärkt ausströmenden Ostseewassers

bis in die Kieler Förde begünstigen, da der Längsschnitt für Mai Salzgehaltsabnahme bei ausgeprägter Schichtung aufweist.

Bei der Auswahl und Erörterung der folgenden konkreten Fälle aus der Fülle von 84 Aufnahmen des Längsprofils der Förde war der Gesichtspunkt maßgebend, vom Mittel stärker abweichende Situationen und die zwischen einzelnen Jahren auftretenden Unterschiede einprägsam herauszustellen und nach Möglichkeit den ursächlichen Zusammenhang mit der vorausgegangenen Wetterlage aufzudecken. Hierzu wurden die folgenden Faktoren herangezogen und für einen Zeitraum von ca. 14 Tagen graphisch dargestellt:

Temperatur und Salzgehalt an der Oberfläche im Kieler Hafen (nach den täglichen Beobachtungen, vgl. H. OHL 1959),

Luftdruck in Kiel 6 Uhr M.E.Z. (nach den täglichen Wetterberichten des Deutschen Wetterdienstes),

Luftdruckdifferenz Oslo—Bremen 12 Uhr M.E.Z.

Pegeldifferenz 12 Uhr in der Innenförde (Bootshafen).

Für die beiden letztgenannten Zustandsgrößen konnten die Aufstellungen benutzt werden, die Herr Kap. OHL für die Jahre 1952—55 angefertigt und z. T. veröffentlicht hat (H. OHL 1959), um die enge Korrelation zwischen Wasserstand und nord-südlichem Luftdruckgradienten aufzuzeigen. Während er ausgeglichene Kurven abbildet, habe ich es vorgezogen, die täglichen Originalbeobachtungen zu verwenden, und in lohnend erscheinenden Fällen Korrelationskoeffizienten berechnet, um die in den graphischen Darstellungen offenkundig werdenden Beziehungen zwischen den einzelnen Zustandsgrößen zu erhärten. Richtung und Stärke des Windes während der wichtigsten Witterungsabschnitte sind den Diagrammen (Abb. 7a—22a) angefügt. Um die nötigen Vorarbeiten nicht zu umfangreich zu gestalten, beschränken sich die Beispiele auf die Jahre 1952—55.

Beispiele typischer Schichtung Westwetter- und Ostwetterlagen im Winter

10. Januar 1952. Sehr bald nach dem Beginn der Terminuntersuchungen im November 1951 führte ein durch schwere Weststürme verursachter langanhaltender und ungewöhnlich starker Einbruch von Kattegatwasser durch den Großen Belt in die westliche Ostsee Anfang Dezember 1951 zu einer Füllung der Kieler Förde mit Wasser von hohem Salzgehalt. Dieser Einstrom machte sich bereits bei der Aufnahme am 7. 12. 51 durch hohen Salzgehalt des Bodenwassers bemerkbar, am 20. 12. wurde bereits eine einheitliche Wassermasse von rd. 24‰ angetroffen, und bis zum 10. 1. 52 hatte sich der Salzgehalt auf über 25‰ erhöht (Tafel 3, Abb. 7). Die Temperatur dieses Wassers ist entsprechend seiner Herkunft aus dem Kattegat ziemlich hoch ($4,6\text{--}5,6^\circ$). Im Bereich der Stat. II macht sich das Schwentinewasser durch Verminderung des Salzgehaltes in der Oberschicht bemerkbar, wobei jedoch die Ausdehnung des beeinflussten Areals mangels Zwischenbeobachtungen nicht genau abzugrenzen ist. Vorgeschichte und Auswirkungen dieses Einstromes von Kattegatwasser in die Ostsee sind von K. Wyrski (1954) ausführlich dargestellt worden.

Die damalige außerordentlich unruhige Wetterlage wird durch die starken Schwankungen des Luftdruckes in Kiel, der Luftdruckdifferenz Oslo—Bremen und des Wasserstandes in der Förde gekennzeichnet (Abb. 7a). Seit Ende Dezember herrschte über dem Nordatlantik eine außergewöhnlich rege Tiefdrucktätigkeit. In kurzen Abständen zogen Störungen über die Nordsee zur Ostsee, von Winden aus SW bis NW von wech-

selnder Stärke begleitet, die ihrerseits wiederum starke Wasserstandsschwankungen verursachten. Die Aufnahme am 10. 1. erfolgte nach Durchzug eines Hochdruckkeils bei einem durch auffrischende SW-Winde stark erniedrigten Wasserstand und zeigt sehr schön das Aufquellen von Tiefenwasser bei ablandigen Winden. Der Gang des Salzgehaltes an der Oberfläche verläuft invers den Wasserstandsschwankungen ($r = -0,704$); ebenfalls deutlich, wenn auch weniger stramm ist eine negative Korrelation zwischen Salzgehalt und örtlichem Luftdruck ($r = -0,283$), der gleichfalls den Wechsel in der Windrichtung anzeigt. Andererseits verläuft der Salzgehalt gegenläufig zur Luftdruckdifferenz Oslo-Bremen, die ein Maß für die Ost-Komponente des Windes im Raum Skagerrak—Kattegat darstellt. Der Zusammenhang zwischen Luftdruckdifferenz und Wasserstand ist im vorliegenden Falle zwar deutlich, aber weniger stramm als sonst ($r = 0,436$).

13. Januar 1953. Diese Aufnahme stellt das andere Extrem hinsichtlich der Höhe des Salzgehaltes dar, der Mitte Januar 1953 mit $14-17\text{‰}$ um $8-11\text{‰}$ unter dem des Vorjahres lag (Tafel 3, Abb. 8).

Die Großwetterlage war eine völlig andere als damals, unser Gebiet stand bis zum 8. 1. 53 bei hohem Druck über Skandinavien im Zeichen östlicher und südöstlicher Polarluftzufuhr aus einem russischen Kältehoch. Die Folge waren niedrige Wassertemperaturen ($1-2^{\circ}$) und absinkender Salzgehalt ($10,2\text{‰}$ am 8. 1.) infolge Anstauens von Ostseewasser und vorübergehenden Eindringens der Beltseefront in die Kieler Förde (Abb. 8a). Die folgenden Tage brachten bei Winden aus SW bis N wechselnde Wasserstände und infolge Zurückweichens der Beltseefront wieder eine Erhöhung des Salzgehaltes an der Oberfläche, der jedoch noch erheblich unter dem 6jährigen Monatsmittel bleibt. Die positive Korrelation zwischen Luftdruckdifferenz und Wasserstand ist, trotz einiger Gegenläufigkeiten ab 10. 1., hinreichend ($r = 0,577$), und ebenso ist, trotz mancher Unregelmäßigkeiten, eine negative Korrelation zwischen dem örtlichen Luftdruck und dem Wasserstand offenkundig ($r = -0,477$).

Diese beiden einander entgegengesetzten Situationen, Einbruch von relativ warmem Kattegatwasser bei Westlage und Vordringen des kalten Ostseewassers bei Ostlage, kennzeichnen die im Januar möglichen Extreme der thermohalinen Schichtung in der Förde. Die übrigen 6 Aufnahmen zeigen eine nur geringe Temperatur- und Salzgehaltsschichtung, die vertikalen Differenzen betragen meist unter 1° und 3‰ , ein Beweis für die starke Durchmischung der Wassermassen in der Kieler Bucht zu dieser Jahreszeit, denn Ähnliches gilt, wie bereits ausgeführt wurde, auch für den Februar.

Ostwetter- und Westwetterlagen im Frühjahr

18. März 1952. Nach einem milden Winter setzte Anfang März 1952 eine nachwinterliche Frostperiode ein, da sich über Nordosteuropa ein Hochdruckgebiet aufgebaut hatte, das mit östlichen Winden Kaltluft heranführte. Trotz Verlagerung des Hochs und vorübergehenden Druckfalles mit schwachen Westwinden stellte sich die

Legenden zu den nebenstehenden Abbildungen (Tafel 3)

Abb. 7: Salzgehalts- und Temperaturschichtung in der Kieler Förde am 10. Januar 1952.

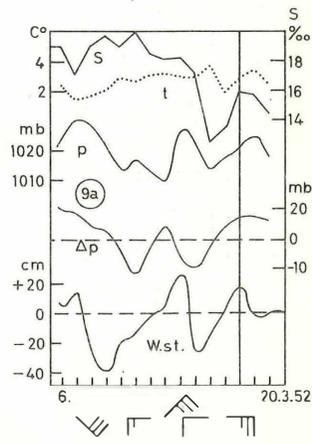
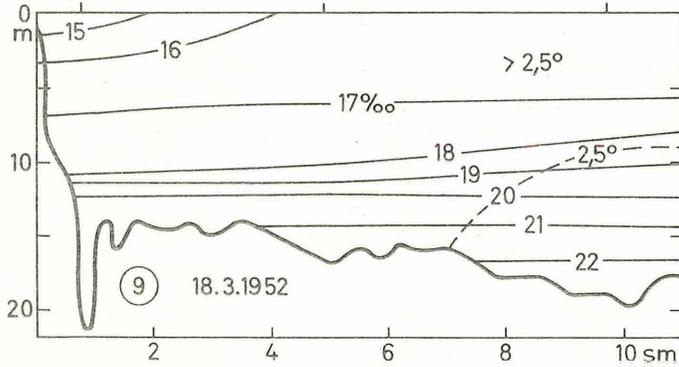
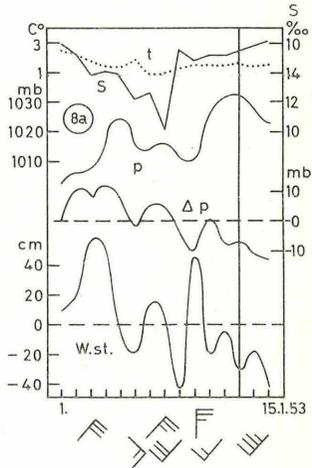
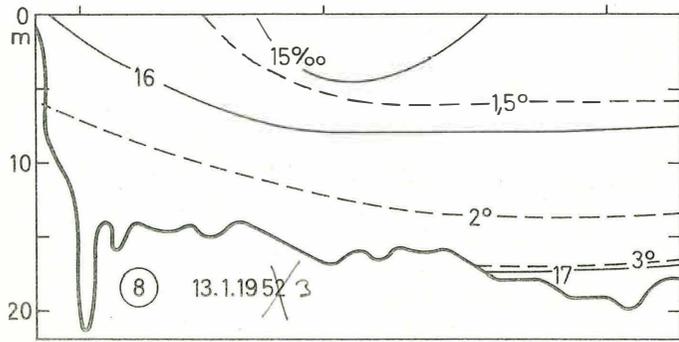
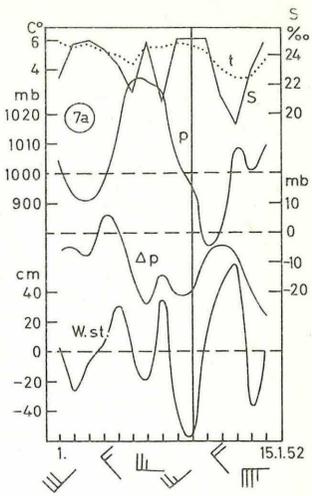
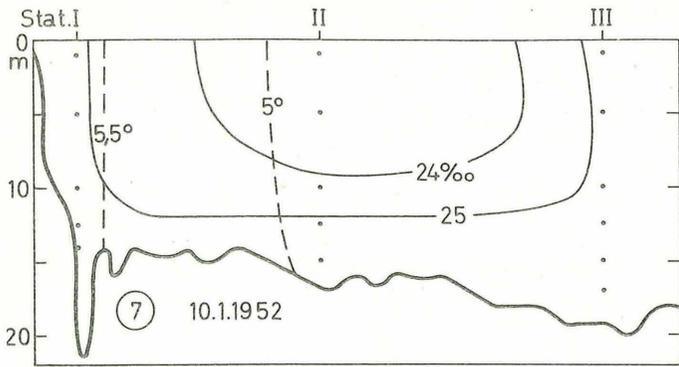
Abb. 8: Desgl. am 13. Januar 1953.

Abb. 9: Desgl. am 18. März 1952.

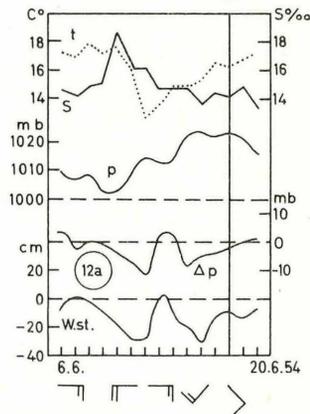
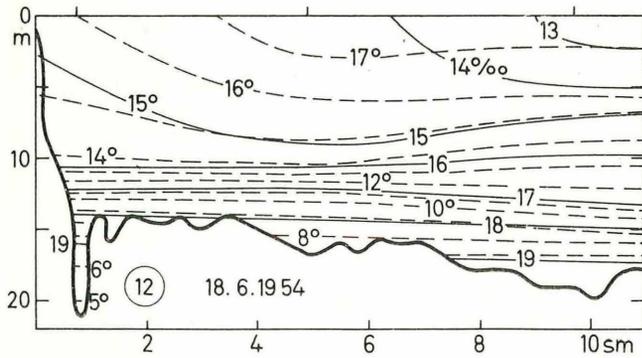
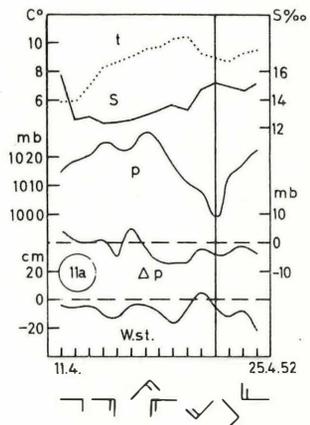
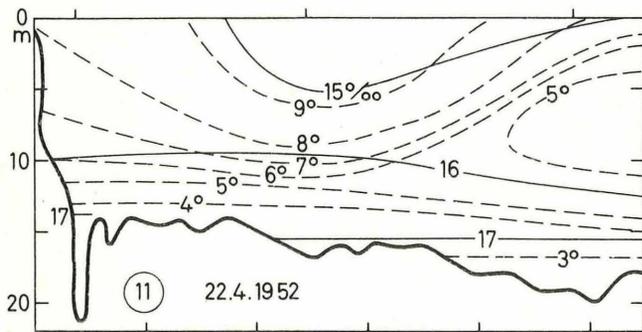
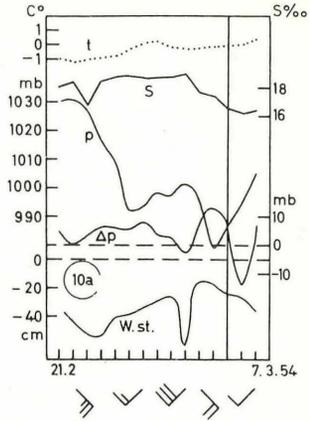
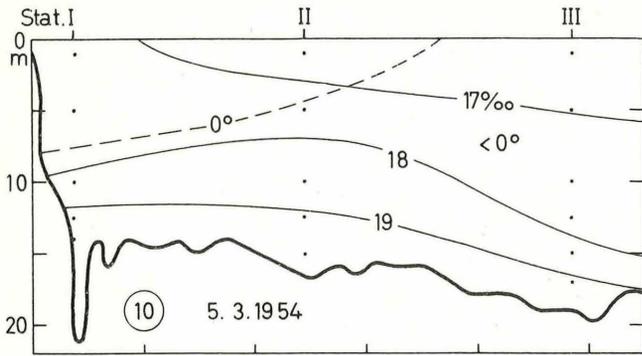
Abb. 7a: Gang der Wassertemperatur (t), des Salzgehaltes (S), des Wasserstandes (W.St.) im Kieler Hafen, des Luftdruckes in Kiel (p) und der Luftdruckdifferenz Oslo—Bremen (Δp) sowie vorherrschende Winde in der Zeit vom 1.—15. 1. 1952.

Abb. 8a: Desgl. vom 1.—15. 1. 1953.

Abb. 9a: Desgl. vom 6.—20. 3. 1952.



Tafel 3 (zu R. Kändler)



Tafel 4 (zu R. Kändler)

Ostströmung immer wieder ein (Tafel 3, Abb. 9a). Der Wasserstand in der Förde schwankte dementsprechend, wobei sich eine gute Übereinstimmung mit den Veränderungen der Luftdruckdifferenz zeigt ($r = 0,497$). Der Oberflächensalzgehalt war anfangs noch recht hoch ($18-20\text{‰}$), eine Auswirkung des Einbruches von Kattegatwasser Ende Dezember 1951; er ging erst mit dem Einsetzen stärkerer NO-Winde um den 14. 3. infolge Herannahens der Beltseefront auf $12-13\text{‰}$ zurück.

Die Aufnahme am 18. 3. 52 bei Ostwind und leicht erhöhtem Wasserstand ergab eine für diese Jahreszeit außergewöhnlich starke Salzgehaltsschichtung, die sich aus der Überlagerung der am Boden verbliebenen Reste des inzwischen abgekühlten Kattegatwassers durch eingedrungenes Ostseewasser erklärt (Tafel 3, Abb. 9). Infolge des erhöhten Wasserstandes ist das Schwentinewasser im Innern der Förde angestaut, es ist an den isoliert vorkommenden 15- und 16‰ -Isohalinen kenntlich. Ab 10 m Tiefe sind die Isohalinen eng geschart, der Gradient beträgt hier im Mittel $0,6\text{‰/m}$. Trotz der großen Salzgehaltsunterschiede herrscht überall nahezu die gleiche Temperatur ($2,4-2,9^{\circ}$).

5. März 1954. Häufige Ostwetterlagen mit stärkerem Frost im Februar 1954 hatten einen bis in den März sich ausdehnenden Spätwinter zur Folge. Wassertemperaturen um 0° und Salzgehalte zwischen 17 und 19‰ kennzeichnen die am 5. 3. 54 angetroffene Situation (Tafel 4, Abb. 10), die so völlig anders ist als Mitte März 1952.

Bis zum 24. 2. führten Ostwinde kalte kontinentale Luftmassen aus einem russischen Hoch in unser Gebiet; dann brachte ein kräftiges Tief über NW-Europa mit SW-Winden maritime Luft heran, womit eine Serie von Tiefdruckgebieten und langsame Wassererwärmung eingeleitet wurden. Bei Winden aus SO bis SW war der Wasserstand in der Förde während dieser Zeit ständig unter Normal (Abb. 10a), was das Eindringen und Aufsteigen von Wasser relativ hohen Salzgehaltes verständlich macht.

Die übrigen 4 Aufnahmen im März ähneln in der geringen Salzgehaltsschichtung der vom März 1954; die vertikalen Unterschiede belaufen sich auf $2-4\text{‰}$. Die Wassertemperaturen lagen, mit Ausnahme der kalten Frühjahre 1955 und 1956, bei $2-4^{\circ}$.

22. April 1952. Im Gegensatz zu der soeben besprochenen Aufnahme war dieser Situation eine Schönwetterlage vom 10.—20. des Monats bei hohem Druck über Mitteleuropa vorausgegangen, nachdem noch zu Beginn des April winterlich kaltes Frostwetter geherrscht hatte. Mit dem 20. 4. wurde wieder kühlere Meeresluft witterungsbestimmend, da sich das europäische Hochdruckgebiet südwärts verlagerte und eine Depression über die Nordsee ostwärts zog. Dieser Witterungsablauf spiegelt sich deutlich in dem raschen Anstieg der Oberflächentemperatur von 6 auf $> 10^{\circ}$ binnen 10 Tagen und dem folgenden vorübergehenden Abfall wieder (Tafel 4, Abb. 11a). Eine gewisse Parallele zum örtlichen Luftdruck ist offensichtlich. Der Salzgehalt verhält sich entgegengesetzt, er ist während der Hochdrucklage niedrig (12‰) und steigt bei fallendem Luftdruck und einsetzenden Westwinden wieder an, da die Beltseefront wieder zurückweicht. Dementsprechend ist die negative Korrelation zwischen beiden Größen ziemlich ausgeprägt ($r = -0,600$), während eine solche zwischen dem Wasserstand und dem

Legenden zu den nebenstehenden Abbildungen (Tafel 4)

Abb. 10: Salzgehalts- und Temperaturschichtung in der Kieler Förde am 5. März 1954.

Abb. 11: Desgl. am 22. April 1952.

Abb. 12: Desgl. am 18. Juni 1954.

Abb. 10a: Gang der Wassertemperatur (t), des Salzgehaltes (S), des Wasserstandes ($W.St.$) im Kieler Hafen, des Luftdruckes in Kiel (p) und der Luftdruckdifferenz Oslo—Bremen (Δp) sowie vorherrschende Winde in der Zeit vom 21. 2.—7. 3. 1954.

Abb. 11a: Desgl. vom 11.—25. 4. 1952.

Abb. 12a: Desgl. vom 6.—20. 6. 1954.

Salzgehalt nicht nachweisbar ist ($r = -0,062$). Die Beziehung zwischen Luftdruckdifferenz und Wasserstand ist bei geringen Schwankungen nur lose ($r = 0,372$).

Die Aufnahme am 22. 4. 52 erfolgte bei schwachen Westwinden und tiefem Barometerstand, kurz nach Beendigung der wetterbestimmenden Hochdrucklage bei normalem Pegelstand. Ihr auffälligstes Kennzeichen ist die starke Temperaturschichtung (Tafel 4, Abb. 11). Die Wassertemperatur fällt von $8-9^{\circ}$ an der Oberfläche ab bis auf $3-4^{\circ}$ über dem Boden. Der relativ geringe Salzgehalt ($15-17,5^{\circ}/_{00}$) läßt bereits auf vermehrten Zustrom von Ostseewasser bei Beginn des Frühjahrs schließen.

Die weiteren 4 April-Aufnahmen weichen in der Salzgehaltsverteilung nicht wesentlich von der hier abgebildeten ab und weisen ebenfalls nur geringe vertikale Salzgehaltsunterschiede ($1,5-3^{\circ}/_{00}$) auf. Die Wassertemperaturen schwanken je nach dem Ausmaß der eingetretenen Erwärmung erheblich zwischen $2-7^{\circ}$ in der Tiefe und $3-9^{\circ}$ an der Oberfläche.

Hochdruck- und Westwetterlagen im Sommer

18. Juni 1954. In unserem Gebiet stellt sich häufig Ende Mai/Anfang Juni infolge kräftiger Erwärmung bei überwiegenden Hochdruckwetterlagen ein warmer Frühsommer ein. Unter diesen Witterungsverhältnissen kommt es zur Ausbildung einer starken thermohalinen Schichtung in der Förde, wie sie der Längsschnitt vom 18. 6. 54 zeigt (Tafel 4, Abb. 12). Warmes Ostseewasser von $16-17^{\circ}$ und $14-15^{\circ}/_{00}$ bildet die Oberschicht; in der Außenförde sinkt der Salzgehalt sogar unter $13^{\circ}/_{00}$. Von 8 m Tiefe ab steigt der Salzgehalt rasch an und nimmt die Temperatur ab, die Isolinien sind hier eng geschart bei Gradienten von $0,6^{\circ}/_{00}/m$ und $1,3^{\circ}/m$.

Die Wetterlage war zu Anfang des Monats gekennzeichnet durch ein Hochdruckgebiet über dem Nordmeer, das später durch ostwärts ziehende Störungen abgelöst wurde. Unter dem Einfluß eines Hochs über Westrußland kam es wieder zu einem Druckanstieg und einer kurz andauernden Hitzewelle. Die Winde wechselten zwischen östlicher und westlicher Richtung, und die entsprechenden Schwankungen des Wasserstandes stehen in enger Korrelation zum Gang der Luftdruckdifferenz ($r = 0,675$). An diesem Beispiel wird deutlich, daß der Salzgehalt in einer viel engeren Korrelation zum örtlichen Luftdruck stehen kann ($r = -0,550$) als zur Luftdruckdifferenz Oslo—Bremen ($r = -0,248$).

Die weiteren 6 Aufnahmen im Juni weisen eine weniger starke Salzgehaltsschichtung und zumeist niedrigere Werte auf; die Temperaturschichtung ist in der Regel sehr ausgeprägt. Auffällig sind Aufquellerscheinungen im inneren Teil des Hafens, die häufig kühleres und salzreicheres Wasser zur Oberfläche aufsteigen lassen.

Der Witterungsablauf des Sommers kann in unserem Gebiet recht unterschiedlich sein, da die gegen Ende Juni einsetzende Monsunlage oft längere Zeit anhält und die damit verbundene rege Wirbeltätigkeit im nordeuropäischen Raum eine unbeständige Wetterlage bedingt. Länger anhaltende schwachwindige Hochdruckwetterlagen mit hohen Lufttemperaturen sind demgegenüber verhältnismäßig selten. Die

Legenden zu den nebenstehenden Abbildungen (Tafel 5)

Abb. 13: Salzgehalts- und Temperaturschichtung in der Kieler Förde am 8. Juli 1953.

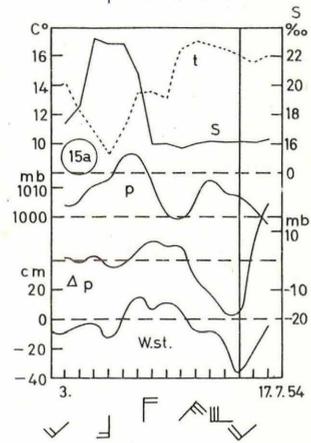
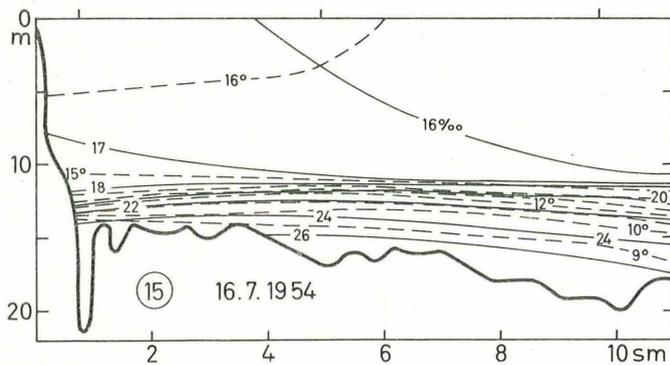
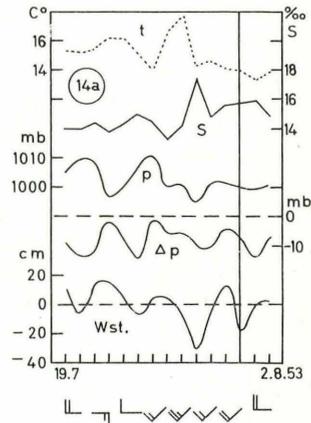
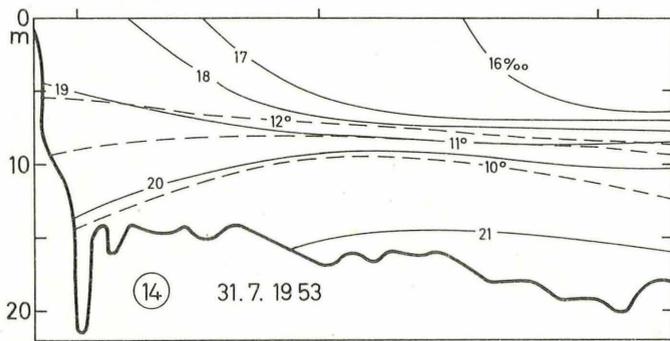
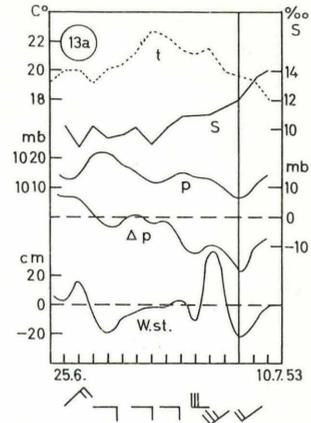
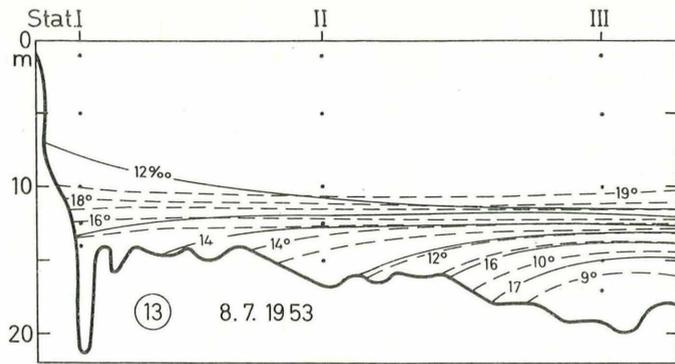
Abb. 14: Desgl. am 31. Juli 1953.

Abb. 15: Desgl. am 16. Juli 1954.

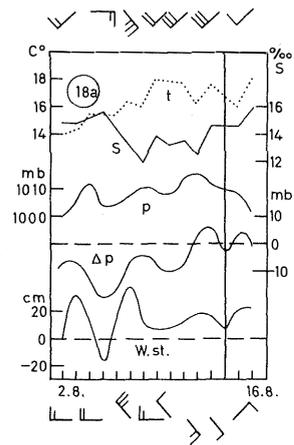
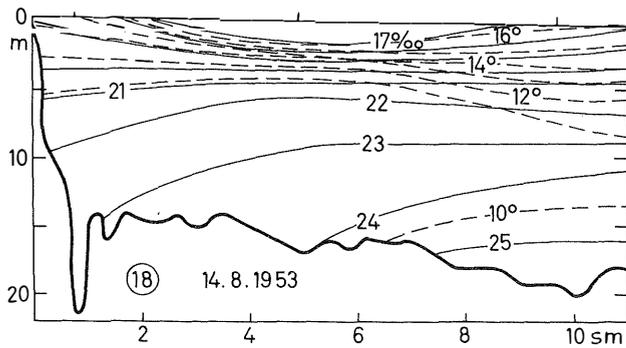
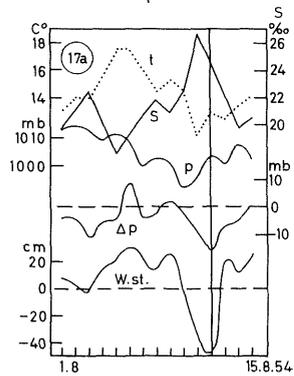
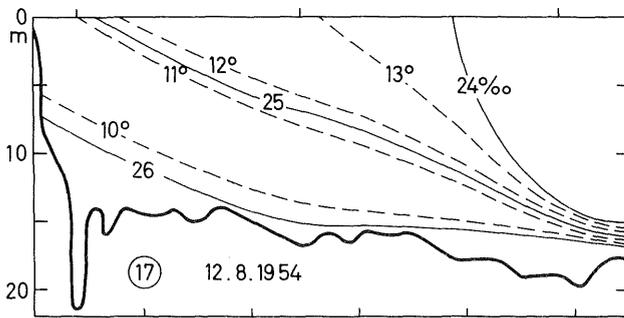
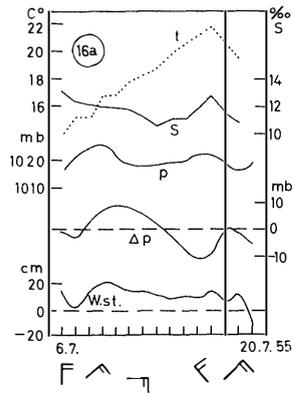
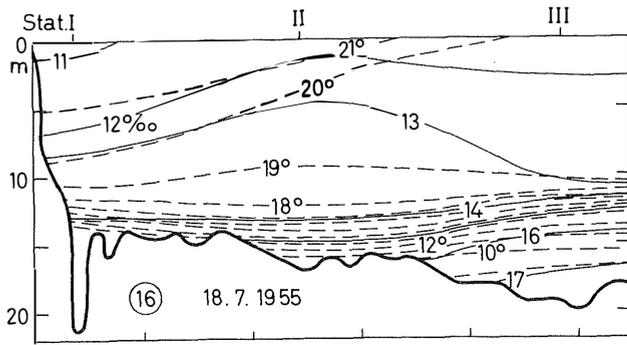
Abb. 13a: Gang der Wassertemperatur (t), des Salzgehaltes (S), des Wasserstandes ($W.St.$) im Kieler Hafen, des Luftdruckes in Kiel (p) und der Luftdruckdifferenz Oslo—Bremen (Δp) sowie vorherrschende Winde in der Zeit vom 22. 6.—10. 7. 1953.

Abb. 14a: Desgl. vom 19. 7.—2. 8. 1953.

Abb. 15a: Desgl. vom 4.—18. 7. 1954.



Tafel 5 (zu R. Kändler)



Tafel 6 (zu R. Kändler)

Auswirkungen derart unterschiedlicher Wetterlagen auf die thermohaline Schichtung in der Kieler Förde wird an den folgenden Längsschnitten dargestellt, die z. T. in Abständen von 2—3 Wochen aufgenommen worden sind und die Zusammenhänge klar erkennen lassen.

8. Juli 1953. Diese Aufnahme (Tafel 5, Abb. 13) ist charakteristisch für den Schichtungstyp nach einer längeren sommerlichen Hochdruckwetterlage. Eine solche entwickelte sich vom 21. 6. 53 ab und brachte bei flacher Luftdruckverteilung und schwachen Winden aus NO bis SO zeitweise Höchsttemperaturen über 30° . In den ersten Julitagen wurde sie durch eine sich allmählich entwickelnde Westdrift abgelöst.

Als Ergebnis sehen wir die Förde bis 12 m Tiefe mit warmem Ostseewasser angefüllt ($19-20^{\circ}$, $11-12^{\circ}/_{00}$); darunter lagert, durch eine scharfe Sprungschicht getrennt, kühleres und salzreicheres Wasser ($9-10^{\circ}$, $15-16^{\circ}/_{00}$). Der Verlauf der Isohalinen deutet an, daß sich dieses Wasser über dem Boden in fördeeinwärts gerichteter Bewegung befindet, wahrscheinlich eine Folge des an diesem Tage bei frischen SW-Winden herrschenden niedrigen Wasserstandes (Abb. 13a). Die Richtigkeit dieser Vermutung wird durch den 3 Wochen später gewonnenen Längsschnitt bestätigt.

31. Juli 1953. Die Mitte des Monats einsetzende lebhafte Wirbeltätigkeit brachte bei meist westlichen Winden eine merkliche Abkühlung, und der Zustrom der Meeresluft wurde jeweils nur kurzfristig durch die ostwärts wandernden Hochdruckzellen unterbrochen. Dieser ständige Wechsel geht aus der graphischen Darstellung der Zustandsgrößen klar hervor (Tafel 5, Abb. 14a), wobei sich hohe Korrelationskoeffizienten ergeben, die die gegenseitigen Beziehungen unter Beweis stellen. Die Luftdruckdifferenz Oslo—Bremen und der Pegelstand laufen weitgehend parallel zueinander ($r = 0,626$). Die negative Korrelation zwischen Wasserstand und Salzgehalt ($r = -0,733$) ist diesmal sehr viel enger als zwischen dem örtlichen Luftdruck und dem Salzgehalt ($r = -0,400$). Salzgehalt und Wassertemperatur (0m) verlaufen, wie zu erwarten, ebenfalls invers zueinander ($r = -0,567$).

Die ständige Westdrift hatte, wie der Längsschnitt vom 31. 7. 53 zeigt (Tafel 5, Abb. 14), die warme, schwachsalzige Oberschicht aus der Förde hinausgeblasen, und kühles, stärker salzhaltiges Wasser war aus der Tiefe aufgestiegen. Eine Sprungschicht trennt in der Außenförde in 7—10 m Tiefe das Oberflächenwasser ($16-17^{\circ}/_{00}$) vom Bodenwasser ($20-21^{\circ}/_{00}$), sie blättert sich in der Innenförde unter dem Einfluß der ablandigen Winde auf, wodurch in der Hörn ein Salzgehaltsanstieg auf $18,5^{\circ}/_{00}$ und eine Temperaturabnahme auf $12,5^{\circ}$ in der Oberschicht hervorgerufen wird, während in der Außenförde noch 16° und knapp $16^{\circ}/_{00}$ gemessen werden. Dieses Aufquellen von kühlem Tiefenwasser bei anhaltender Westwindlage ist im Sommer eine typische und für die Badegäste wenig erfreuliche Erscheinung vor der Ostküste Schleswig-Holsteins.

16. Juli 1954. Das Schichtungsbild (Tafel 5, Abb. 15) ähnelt dem vom 8. Juli des Vorjahres, es zeigt eine nahezu homohaline und homotherme Oberschicht, darunter in 11 m Tiefe eine Sprungschicht mit starkem Salzgehaltsanstieg und Temperaturabfall. Zum Unterschied vom Vorjahr liegt der Salzgehalt erheblich höher, er beträgt in der

Legenden zu den nebenstehenden Abbildungen (Tafel 6)

Abb. 16: Salzgehalts- und Temperaturschichtung in der Kieler Förde am 18. Juli 1955.

Abb. 17: Desgl. am 12. August 1954.

Abb. 18: Desgl. am 14. August 1953.

Abb. 16a: Gang der Wassertemperatur (t), des Salzgehaltes (S), des Wasserstandes (W.St.) im Kieler Hafen, des Luftdruckes in Kiel (p) und der Luftdruckdifferenz Oslo—Bremen (Δp) sowie vorherrschende Winde in der Zeit vom 6.—20. 7. 1955.

Abb. 17a: Desgl. vom 1.—16. 8. 1954.

Abb. 18a: Desgl. vom 2.—16. 8. 1953.

Oberschicht 16—17‰ und am Boden 25—26‰, wobei sich für die Unterschicht ein ungewöhnlich hoher vertikaler Gradient von 1,9‰/m errechnet. Die Wassertemperaturen sind demgemäß niedrig, 16° in der Oberschicht und darunter ein rascher Abfall auf knapp 9° über dem Boden bei einem Gradienten von 1,6°/m.

Die vorangegangene Wetterperiode stand unter der Herrschaft von Tiefdruckgebieten über Nord- und Ostsee, die nur kurzzeitig von einem Vorstoß des Azorenhochs am 9. 7. unterbrochen wurde, der bei nördlichen Winden Temperaturanstieg und Salzgehaltsabfall an der Oberfläche brachte (Abb. 15a). Am Untersuchungstage wehten steife Westwinde und verursachten einen niedrigen Wasserstand. Auffällig ist der inverse Gang von Salzgehalt und Temperatur an der Oberfläche ($r = -0,741$), klare Beziehungen beider Faktoren zu den Luftdruckverhältnissen sind nicht ersichtlich. Die Korrelation zwischen Luftdruckdifferenz und Pegelstand ist, wie in den meisten Fällen, recht gut ($r = 0,535$).

18. Juli 1955. Auf den kühlen, nassen Sommer 1954 folgte der warme, trockene Sommer 1955; es ist deshalb zu erwarten, daß sich die Aufnahme vom 18. 7. 55 in charakteristischer Weise von dem im gleichen Monat des Vorjahres gewonnenen Längsschnitt unterscheidet. Infolge starker Sonneneinstrahlung ist die Oberschicht in der Innenförde stark erwärmt (Tafel 6, Abb. 16); an der Oberfläche werden 21—22° gemessen, die 19°-Isotherme befindet sich in 9—10 m Tiefe, darunter fällt die Temperatur rasch ab auf 12—13° am Boden. Der niedrige Salzgehalt der Oberschicht (12—13‰) weist auf eine länger anhaltende Einstromlage hin. Die 14‰-Isohaline liegt in 12—13 m Tiefe, darunter steigt der Salzgehalt allmählich an, in der Außenförde bis 17‰ am Boden.

Nachdem zu Beginn des Monats Störungen das Wetter noch unbeständig gestaltet hatten, führte ein Vorstoß des Azorenhochs zu einer Hochdruckwetterlage über Mittel- und Nordeuropa, die hohe Lufttemperaturen und eine ungewöhnliche sommerliche Trockenheit brachte. Bei dem Gang der Zustandsgrößen (Abb. 16a) beeindruckt besonders der anhaltende Temperaturanstieg an der Oberfläche innerhalb 8 Tage von 14 auf 20°.

14. August 1953. Es ist reizvoll, die weitere Entwicklung der Schichtungsverhältnisse in der Kieler Förde in den ihrem Witterungsverlauf nach sehr unterschiedlichen Jahren 1953, 1954 und 1955 zu verfolgen. Der am 14. 8. 53 aufgenommene Längsschnitt (Tafel 6, Abb. 18) zeigt gegenüber der Aufnahme vom 31. 7. 53 (Tafel 4, Abb. 14) eine weitere beträchtliche Zunahme des Salzgehaltes vor allem in den tieferen Schichten. Die 20‰-Isohaline ist von 10 auf 4 m angehoben, und über dem Boden dringt Wasser von 23—25‰ einwärts. Infolgedessen gibt es keine gleichmäßig temperierte Oberschicht mehr, der Temperaturabfall beginnt sogleich unter der Oberfläche und beträgt in den oberen 5 m an Stat. I 0,8°/m, bei gleich großem vertikalen Salzgehaltsgradienten. Die Sprungschicht ist dicht unter die Oberfläche verlagert, wobei sich im Innern des Kieler Hafens an der Oberfläche deutlich Auftriebserscheinungen zeigen, während bei Stat. II der Einfluß des Schwentinewassers klar hervortritt und die Gradienten verstärkt. Das Bodenwasser von $> 20‰$ hat Temperaturen um 10°.

Dieser Einstrom von stärker salzhaltigem Wasser in die Förde war die Folge einer seit der letzten Juli-Woche anhaltenden Westwetterlage, die erst wenige Tage vor dem Untersuchungstermin einer vorübergehenden Hochdruckzelle über Mitteleuropa Platz machte (Abb. 18a). Wie der Augenschein lehrt, besteht zwischen dem örtlichen Luftdruck und dem Salzgehalt an der Oberfläche eine enge Beziehung ($r = -0,652$), ebenso zur Wassertemperatur ($r = 0,541$). Der parallele Gang von Pegelstand und Luftdruckdifferenz wird durch den Korrelationskoeffizienten $r = 0,496$ gekennzeichnet.

12. August 1954. Ein völlig anderes, in dieser Jahreszeit ganz unerwartetes Bild

bietet die Schichtung in dem witterungsmäßig so unerfreulichen Sommer 1954, in dem die über die Nordsee ostwärts ziehenden Serien von Tiefdruckgebieten nicht abrissen. Die Aufnahme am 12. 8. 54 erfolgte bei tiefem Wasserstand (50 cm unter Normal) und bei steifen bis stürmischen SW-Winden infolge Durchzugs einer kräftigen Depression über die Deutsche Bucht (Tafel 6, Abb. 17). Ähnlich wie im Januar 1952 ist jetzt die Förde mit Wasser von 23,5—26,5‰ angefüllt, das sich durch seine niedrige Temperatur (10—13°) als Tiefenwasser aus dem Kattegat zu erkennen gibt, aus dem es bei den schweren Stürmen Ende Juli 1953 durch den Großen Belt in die Kieler Bucht eingeströmt ist, um dann bei erneut auffrischenden SW-Winden im Gefolge eines Skagerrak-Tiefs in die Kieler Förde eingesogen zu werden. Sehr schön zeigt sich hierbei die Auftriebswirkung ablandiger Winde in der Zunahme des Oberflächensalzgehaltes von 22,8‰ beim Feuerschiff „Kiel“ auf 25,7‰ an Stat. I.

Der parallele bzw. inverse Gang der verschiedenen Zustandsgrößen ist an diesem Beispiel besonders eindrucksvoll zu demonstrieren (Abb. 17a). Es ergeben sich die folgenden Korrelationskoeffizienten: Luftdruckdifferenz Oslo—Bremen zu Pegelstand: $r = 0,760$; Wasserstand zu Salzgehalt (0m): $r = -0,821$; Wasserstand zu Temperatur (0m): $r = 0,641$; Luftdruck Kiel zu Salzgehalt: $r = -0,557$; Salzgehalt zu Temperatur (0m): $r = -0,744$.

13. August 1955. Wenn die seit Juli 1955 vorherrschende hochsommerliche Hochdruckwetterlage auch durch ein über der Nordsee entstandenes Tief (7.—8.8.) unterbrochen wurde, so kam es doch sehr bald wieder zu Druckanstieg und Wiederherstellung des trockenen Sommerwetters. Die extreme Ausstromlage, in die die Kieler Förde einbezogen war, hielt die ganze Zeit über an, was an dem niedrigen Oberflächensalzgehalt (10—11‰) zu erkennen ist.

Die Aufnahme am 13. 8. 55 (Tafel 7, Abb. 19) zeigt eine auf 19—21° erwärmte Oberschicht von 5—7 m Mächtigkeit und einem Salzgehalt von 11—12‰. Dann folgt eine durch eng gescharte Isolinien gekennzeichnete Sprungschicht, unter der sich ein ziemlich einheitlicher Wasserkörper von 15—17‰ und 10—13° am Boden einwärts bewegt.

Die abgebildeten 7 Längsschnitte aus den Monaten Juli und August 1953—55 geben eine Vorstellung davon, wie unterschiedlich die Schichtungsverhältnisse in der Kieler Förde gerade im Hochsommer sein können, je nachdem ob die Witterung durch eine länger anhaltende Hochdrucklage oder durch eine lebhaftere Zyklonentätigkeit bestimmt wird. Im ersteren Falle ist die Förde in die allgemeine Ausstromlage einbezogen und bis zu mehreren Meter Tiefe mit warmem, salzarmem Ostseewasser gefüllt; im zweiten Falle gerät sie in zunehmendem Maße in den Wirkungsbereich des Einstromes, die Salzgehaltshorizonte werden durch die ablandigen Westwinde angehoben, das Ostseewasser wird hinausgeblasen und durch kühleres, salzhaltigeres Tiefenwasser ersetzt. Im Extremfalle füllt sich die Förde mit Kattegatwasser. Daneben besteht natürlich im Sommer noch die Möglichkeit, daß unter mittleren Witterungsverhältnissen, wie z. B. 1952 und 1956, eine dem Mittelbild vom Juli ähnliche Schichtung verwirklicht wird.

Westwetter- und Ostwetterlagen im Herbst

15. September 1955. Im September gestaltet sich die Witterung in der Regel in zunehmendem Maße unbeständig, und in der 2. Monatshälfte treten oft die ersten schweren Herbststürme auf, die starken Einstrom in den Belten verursachen und sich in der beschriebenen Weise bis in die Kieler Förde auswirken. Wie sich die Schichtungsverhältnisse am Ende einer langen hochsommerlichen Ausstromlage gestalten können, zeigen die Untersuchungen Mitte September 1955. Anfang des Monats bereiteten allmählich von Westen auf unser Gebiet übergreifende Störungen der sommerlichen

Hochdrucklage ein Ende, kühle Meeresluft drang ein, und ein von Westen über die Nordsee wanderndes Tief brachte die ersten Herbststürme. Die Aufnahme am 15. 9. 55 (Tafel 7, Abb. 20) läßt die für den Sommer dieses Jahres typische einheitliche Oberschicht vermissen. Die Sprungschicht ist durch die ablandigen Winde bis an die Oberfläche gehoben, sie blättert sich im Innern der Förde auf, und die Richtung der Isohalinen vermittelt den Eindruck, daß über dem Boden, unterhalb 10 m, Wasser von $18-19\text{‰}$ und $12-13^\circ$ einströmt, in der Oberschicht dagegen solches von $13-15\text{‰}$ und $15-17^\circ$ ausströmt. Die Wassermassen sind offensichtlich in Bewegung geraten.

In den vorausgegangenen 2 Wochen ergeben sich für die Beziehungen zwischen den Zustandsgrößen die folgenden Korrelationskoeffizienten: Luftdruckdifferenz zu Pegelstand: $r = 0,647$; Pegelstand zu Salzgehalt (0m): $r = -0,296$; örtlicher Luftdruck zu Salzgehalt: $r = -0,560$; Salzgehalt zu Temperatur (0m): $r = -0,685$. Auch diesmal ist die Beziehung des Oberflächensalzgehaltes zum örtlichen Luftdruck enger als zum Wasserstand.

Wir sahen bereits, daß im Oktober bei fortschreitender Abkühlung der Zustand der Homothermie erreicht wird (Tafel 2, Abb. 5), wobei die Dichteschichtung mehr und mehr abnimmt. Zwei Längsschnitte aus dem Spätherbst mögen diese Übersicht beschließen und zeigen, welche unterschiedliche Situationen auch in dieser Jahreszeit auftreten können.

25. November 1953. Dieses Beispiel wurde ausgewählt, um zu zeigen, daß auch gegen Jahresende sich in der Förde eine Salzgehaltsschichtung einstellen kann, die an sommerliche Verhältnisse erinnert (Tafel 7, Abb. 21). Die Lage der Isohalinen deutet an, daß sich am Boden Wasser von $20-22\text{‰}$ und $10-11^\circ$ in die Förde vorschiebt, während die mehrere Meter mächtige, einheitliche Oberschicht von $17-18\text{‰}$ und $8-9^\circ$ sich in auswärts gerichteter Bewegung befindet.

Von der Mitte des Monats ab stand unser Gebiet unter dem wechselnden Einfluß östlicher Winde im Bereich von Hochdruckgebieten über Skandinavien und westlicher Warmluftzufuhr. Am Untersuchungstage wehten kräftige SO-Winde, die das wenige Tage zuvor bei Nordwind angestaute Wasser aus der Förde hinausdrückten und so einen über dem Boden einwärts setzenden Konvektionsstrom verursachten. Die enge Korrelation nicht nur zwischen Wasserstand und Salzgehalt ($r = -0,627$), sondern auch zwischen örtlichem Luftdruck und Salzgehalt ($r = -0,700$) ist beachtlich.

25. November 1955. Eine völlig andere meteorologische Situation charakterisiert dieses letzte Beispiel (Tafel 8, Abb. 22.). Die Aufnahme wurde während des Ablaufens eines Hochwassers in der Förde durchgeführt, das in der vorhergehenden Nacht beim Durchzug eines Sturmwirbels mit N-Sturm 7—8 einen Höchststand von 1,5 m über Normal erreicht hatte. Die Förde ist mit einem Mischwasser von $17,5-18,5\text{‰}$ und $6,5-8^\circ$ angefüllt; die Salzgehaltsabnahme fördeeinwärts deutet auf Anstau des Schwentinewassers.

Die vorangegangene unruhige Wetterlage, die durch die Randlage unseres Gebietes an einem über den Britischen Inseln längere Zeit stationären Hochs begründet war,

Legenden zu den nebenstehenden Abbildungen (Tafel 7)

Abb. 19: Salzgehalts- und Temperaturschichtung in der Kieler Förde am 13. August 1955.

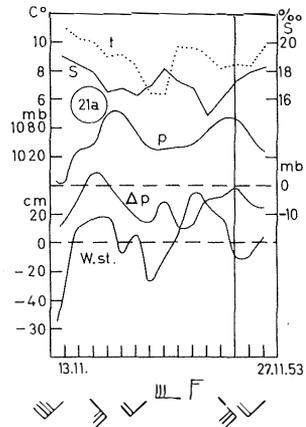
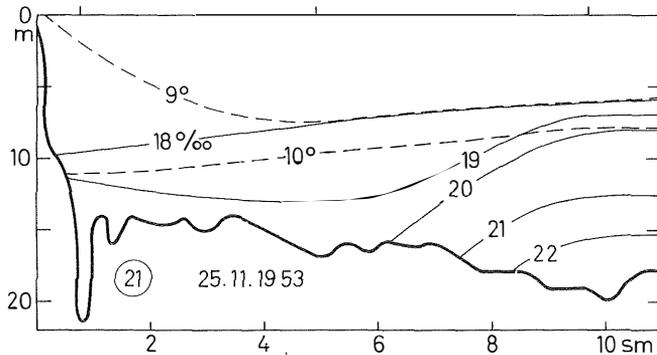
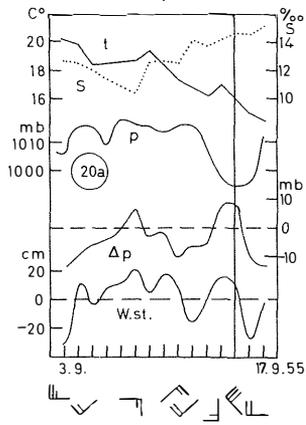
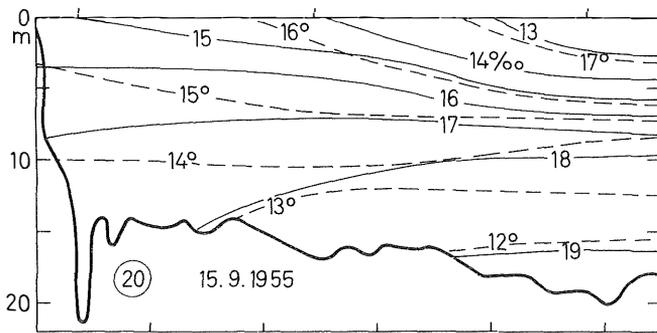
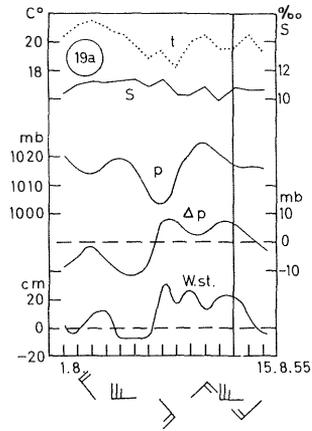
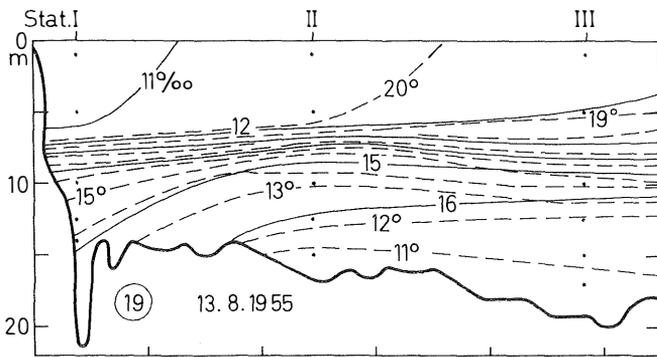
Abb. 20: Desgl. am 15. September 1955.

Abb. 21: Desgl. am 25. November 1953.

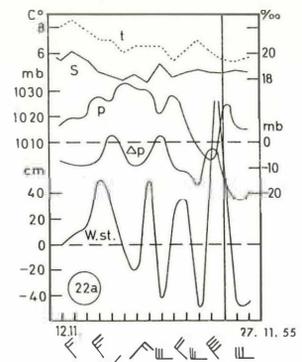
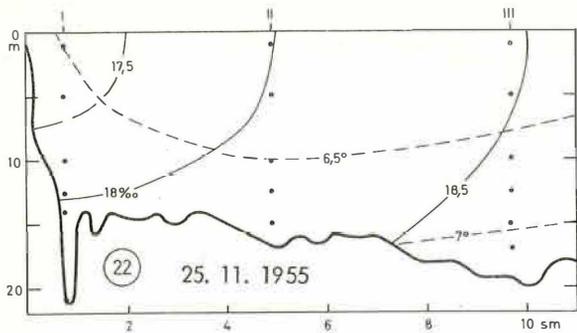
Abb. 19a: Gang der Wassertemperatur (t), des Salzgehaltes (S), des Wasserstandes (W.St.) im Kieler Hafen, des Luftdruckes in Kiel (p) und der Luftdruckdifferenz Oslo—Bremen (Δp) sowie vorherrschende Winde in der Zeit vom 1.—15. 8. 1955.

Abb. 20a: Desgl. vom 3.—17. 9. 1955.

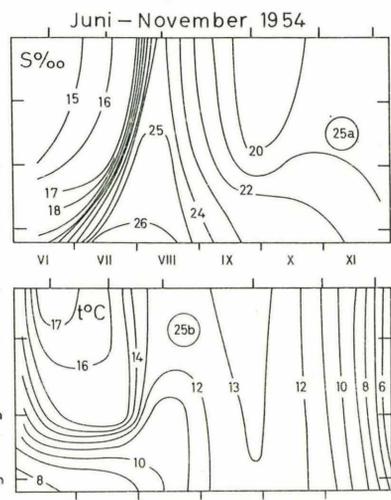
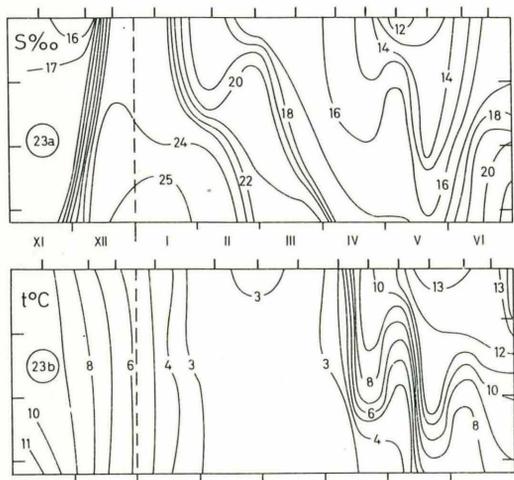
Abb. 21a: Desgl. vom 13.—27. 11. 1953.



Tafel 7 (zu R. Kändler)

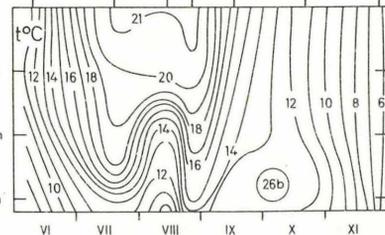
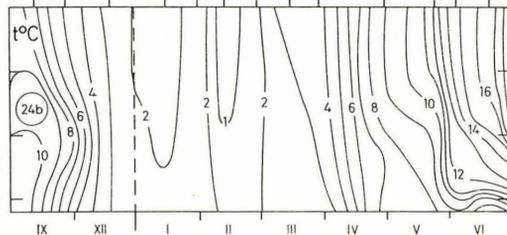
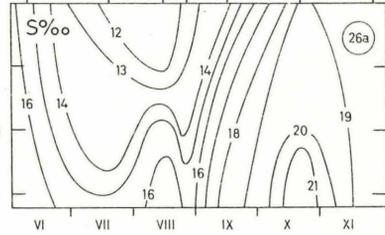
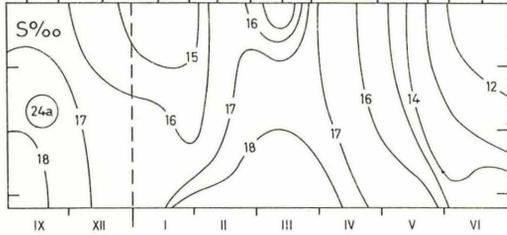


November 1951 – Juni 1952



November 1952 – Juni 1953

Juni – November 1955



Tafel 8 (zu R. Kändler)

verursachte durch Kaltluftereinbrüche aus dem Norden wiederholte starke Wasserstandsschwankungen (Abb. 22a), die nur verhältnismäßig schwach in den Schwankungen der Luftdruckdifferenz Oslo—Bremen zum Ausdruck kommen ($r = 0,481$). Jetzt, im Übergang zum Winter nach erfolgter Temperaturumkehr in der Vertikalen, verlaufen Salzgehalt und Wassertemperatur an der Oberfläche gleichsinnig ($r = 0,733$).

Unterschiede in der zeitlichen Folge der Schichtungstypen im Verlauf einzelner Jahre

In den ersten beiden Jahren der Terminuntersuchungen in der Kieler Förde wurden die Aufnahmen fast regelmäßig zweimal im Monat durchgeführt. Wenn auch die gleichzeitigen täglichen Beobachtungen zeigen, daß die Salzgehalte und Temperaturen an der Oberfläche im Verlauf weniger Tage erheblich schwanken können, so darf man doch annehmen, daß diese kurzfristigen Schwankungen mit zunehmender Wassertiefe abklingen, da die tieferen Schichten der direkten Einwirkung des Windes entzogen sind. Es wurde deshalb noch der Versuch gewagt, aus den im Abstand von 10—20 Tagen erhaltenen Beobachtungsdaten an der Station II (Möltenort) als dem für die Kieler Innenförde repräsentativen Platz Isoplethendiagramme des Salzgehaltes und der Temperatur für die Zeit von November bis Juni der Jahre 1951/52 und 1952/53 zu zeichnen, um den Wandel der Schichtungsverhältnisse in diesen witterungsmäßig so unterschiedlichen Wintern aufzuzeigen. Auf diese Weise erhalten wir allerdings wahrscheinlich nur ein generalisiertes und sehr vergrößertes Abbild der wirklichen Verhältnisse, da die in den Zwischenzeiten aufgetretenen Vorgänge unbekannt sind und die Wahl der Beobachtungstage ganz vom Zufall abhing. Das Ergebnis scheint jedoch den Versuch zu rechtfertigen, aus je 14 Aufnahmen im November bis Anfang Juli die Veränderungen in der Schichtung darzustellen (Tafel 8, Abb. 23a, b, 24a, b). Die bereits bei der Erörterung einzelner Aufnahmen (10. 1., 18. 3., 22. 4. 1952; 13. 1. 1953) herausgestellten Besonderheiten und die Unterschiede zwischen beiden Jahren treten anschaulich hervor: Der außergewöhnlich kräftige Einbruch von Kattegatwasser im Dezember 1951, der sich durch hohe Salzgehalte bis in den März auswirkt, und die dadurch verzögerte Abkühlung des Wassers, dessen Temperaturen bis Februar/März kaum unter 2° absinken — im Gegensatz hierzu die niedrigen, sehr viel gleichförmigeren Salzgehalte im Winter 1952/53 bei rascher und im Februar bis nahe 0° herabgehender Abkühlung. Im Frühjahr 1953 deutet der Verlauf der Isoplethen eine stetige Entwicklung zur vorherrschenden Ausstromlage mit allmählich ansteigenden Wassertemperaturen, niedrigen Salzgehalten und geringer Schichtung an, im Vorjahr dagegen lösen sich im Mai und Juni Vorstöße von Ostseewasser und Kattegatwasser ab und rufen eine viel stärkere Schichtung hervor.

Schließlich sei auch noch der Versuch unternommen, die jeweils 6—7 Aufnahmen von Juni bis November 1954 und 1955 zu Isoplethendiagrammen zu vereinigen, obwohl

Legenden zu den nebenstehenden Abbildungen (Tafel 8)

- Abb. 22: Salzgehalts- und Temperaturschichtung in der Kieler Förde am 25. November 1955.
Abb. 22a: Gang der Wassertemperatur (t), des Salzgehaltes (S), des Wasserstandes ($W.St.$) im Kieler Hafen, des Luftdruckes in Kiel (p) und der Luftdruckdifferenz Oslo—Bremen (Δp) sowie vorherrschende Winde in der Zeit vom 12.—27. 11. 1955.
Abb. 23a, b: Isoplethendiagramme von Salzgehalt und Temperatur bei der Terminstation II (Möltenort), November 1951—Juni 1952.
Abb. 24a, b: Desgl., November 1952—Juni 1953.
Abb. 25a, b: Desgl., Juni—November 1954.
Abb. 26a, b: Desgl., Juni—November 1955.

man hiergegen noch weit mehr Bedenken tragen darf, da die meist nur einmal im Monat durchgeführten Beobachtungen keinerlei Gewähr geben, die Veränderungen richtig zu erfassen. Doch auch in diesem Falle scheint das Ergebnis besser zu sein als erwartet. Die an einer Reihe von Einzelaufnahmen (18. 6., 16. 7., 12. 8. 1954; 18. 7., 13. 8., 15. 9., 25. 11. 1955) dargelegten Besonderheiten gelangen in den Isoplethendiagrammen (Tafel 8, Abb. 25a, b, 26a, b) klar zur Anschauung: Die Füllung der Kieler Förde mit kühlem Kattegatwasser im Juni/Juli 1954, wodurch die vorangegangene Ausstromlage mit hohen Wassertemperaturen und starker Schichtung abgelöst, der Sommer vorzeitig beendet und bereits ab August in der Förde herbstliche Zustände hervorgerufen werden. Im Jahre 1955 hingegen entwickelt sich Ende Juni eine langanhaltende Ausstromlage mit hohen Wassertemperaturen und niedrigen Salzgehalten, und erst im Verlauf des September vollzieht sich der Übergang zur vorherrschenden Einstromlage mit steigenden Salzgehaltswerten, abnehmender Schichtung und rückläufigen Temperaturen. Es versteht sich von selbst, daß die Veränderungen der Schichtung in Wirklichkeit nicht so gleichmäßig fließend erfolgt sind, wie die langabständigen Beobachtungsserien es erscheinen lassen. Aber das Wesentliche der Vorgänge und die witterungsbedingten Unterschiede zwischen den angeführten Jahren werden in ihren Grundzügen doch sichtbar.

Schlußbetrachtungen

Zum Schluß sei noch einmal kurz zusammenfassend auf die äußeren Kräfte eingegangen, die den Wasserwechsel in der Kieler Förde und damit die Schichtungsverhältnisse entscheidend beeinflussen. Da sind in erster Linie die Schwankungen des Wasserstandes zu nennen, über deren Ausmaß die abgebildeten 14-tägigen Ausschnitte aus Pegelkurven eine Vorstellung geben. Sie sind, von den Wirkungen des wechselnden Luftdrucks und den Eigenschwingungen der Förde abgesehen, durch die Großwetterlage und damit durch Richtung und Stärke des Windes in dem Übergangsbereich zwischen Nord- und Ostsee bedingt, was in dem weitgehend parallelen Gang von Pegelstand und nordsüdlichem Luftdruckgradienten zum Ausdruck kommt. Für 11 ausgewählte Zeitabschnitte von etwa 14-tägiger Dauer ergeben sich Korrelationskoeffizienten zwischen 0,436 und 0,760 und daraus als Mittelwert $r = 0,555$ für insgesamt etwa 180 Wertepaare. Da die gewählte Luftdruckdifferenz Oslo—Bremen ein Maß für die Ostkomponente des Windes ist, für die Wasserstandsschwankungen in der Kieler Förde jedoch auch die Nordkomponente von großer lokaler Bedeutung ist, überrascht es nicht, daß die Korrelation nicht enger ist.

Um Beziehungen zwischen den Salzgehaltsschwankungen in der Kieler Förde und meteorologischen Faktoren aufzudecken, sei an die Feststellungen von H. WATTENBERG (1949) erinnert, daß bei östlichen Winden und langanhaltenden Ausstromlagen die das schwachsalzige Ostseewasser begrenzende Beltseefront von den Belten her langsam in die Kieler Bucht vorrückt. Erreicht und überschreitet sie das Feuerschiff „Kiel“, so wird damit auch die Kieler Förde in den Bereich des Ausstromes einbezogen, der Oberflächen-salzgehalt fällt, wenn auch oft nur für kurze Zeit, da bereits beim Nachlassen des Ausstromes sich die Beltseefront wieder ostwärts zurückzieht und der Salzgehalt vor der Außenförde wieder ansteigt. Andererseits erzwingen westliche Winde ein Abströmen des Wassers aus der Kieler Bucht ostwärts und drücken das Wasser aus der Nordsee in das Skagerrak und Kattegat, aus denen bei anhaltender Einstromlage beträchtliche Mengen salzreichen Wassers durch den Gr. Belt infolge der Erdrotation schnell in die Kieler Bucht gebracht werden. So erreicht sehr bald nach dem Umschlagen zur Einstromlage stärker salzhaltiges Wasser von Westen her die Außenförde und läßt hier den Salzgehalt ansteigen. Bei langanhaltenden Einstromperioden

wird die Salzgehaltsverteilung in der Kieler Bucht gänzlich umgestaltet, sie füllt sich mit salzreichem Kattogatwasser, das dann auch von der Kieler Förde Besitz ergreift.

Dieses komplizierte Zusammenspiel von Wind und Stromlagen machen es verständlich, daß die Beziehungen zwischen Oberflächensalzgehalt und Pegelstand in der Kieler Förde, je nach der Intensität und Dauer des Ein- oder Ausstromes durch den Gr. Belt, mehr oder minder eng sind. Zwischen beiden Größen besteht in der Regel eine negative Korrelation; als Korrelationskoeffizienten ergeben sich Werte zwischen $-0,062$ und $-0,821$, bei einem Mittelwert von $-0,540$ (an 100 Wertpaaren).

Anfangs schien es, als ob die Beziehungen zwischen dem örtlichen Luftdruck und dem Oberflächensalzgehalt enger seien. Im einzelnen ergeben sich hierfür Korrelationskoeffizienten zwischen $-0,283$ und $-0,700$. Dies ist wohl so zu verstehen, daß fallender Luftdruck, beim Herannahen einer Depression, von SW-Winden begleitet ist, die das Wasser aus der Förde treiben und salzreicheres Tiefenwasser zum Aufsteigen bringen, während nach Durchzug der Störung bei steigendem Luftdruck der Wind auf NW und eventuell weiter in östliche Richtung dreht, wodurch der Anstau von schwachsalzigem Ostseewasser in der Förde begünstigt wird. Mit beiden Vorgängen Hand in Hand geht eine entsprechende Verschiebung der Beltseefront. Die Berechnung des Mittelwertes für die Korrelation örtlicher Luftdruck zu Oberflächensalzgehalt ergibt einen Mittelwert von $-0,538$ (an 130 Wertpaaren), der genau so groß ist wie derjenige für die Beziehungen zwischen Pegelstand und Salzgehalt. Da es sich bei den angeführten Beispielen um ausgewählte Zeitabschnitte handelt, dürften die Korrelationskoeffizienten für längere Zeiträume wesentlich kleiner und die Beziehungen entsprechend lockerer sein.

Wie zu erwarten, besteht in den Sommer- und Herbstmonaten eine ziemlich enge negative Korrelation zwischen Temperatur und Salzgehalt des Oberflächenwassers ($r = -0,684$, 75 Wertpaare). Im Winter dagegen kehrt sich die Beziehung um, jetzt gehen Temperatur und Salzgehalt einander parallel.

Diese Hinweise mögen an dieser Stelle genügen. Vielleicht würde es sich lohnen, das gesamte Beobachtungsmaterial eingehend auf derartige Korrelationen zu prüfen, um zu einem noch besseren Verständnis der hydrographischen Vorgänge in der Kieler Förde zu gelangen.

Literaturverzeichnis

- KÄNDLER, R. (1951): Der Einfluß der Wetterlage auf die Salzgehaltsschichtung im Übergangsbereich zwischen Nord- und Ostsee. Dtsch. Hydr. Zeitschr. 4, 150—160. — KÄNDLER, R. (1959): Hydrographische Beobachtungen in der Kieler Förde. Kieler Meeresf. 15, 145—156. — KRAUSS, W. (1960): Hydrographische Messungen mit einem Beobachtungsmast in der Ostsee. Kieler Meeresf. 16, 13—27. — OHL, H. (1959): Temperatur- und Salzgehaltsmessungen an der Oberfläche des Kieler Hafens in den Jahren 1952—1957. Kieler Meeresf. 15, 157—160. — WATTENBERG, H. (1941): Über die Grenzen zwischen Nord- und Ostseewasser. Ann. Hydrogr. u. marit. Meteorol. 69, 265—279. — WATTENBERG, H. (1949): Die Salzgehaltsverteilung in der Kieler Bucht und ihre Abhängigkeit von Strom- und Wetterlage. Kieler Meeresf. 6, 17—30. — WYRTKI, K. (1954): Der große Salzeinbruch in die Ostsee im November und Dezember 1951. Kieler Meeresf. 10. — DEUTSCHE SEEWARTE / DEUTSCHES HYDROGRAPHISCHES INSTITUT: Beobachtungen auf den deutschen Feuerschiffen der Nord- und Ostsee. — DEUTSCHER WETTERDIENST: Täglicher Wetterbericht. — WETTERAMT SCHLESWIG: Wetter in Schleswig-Holstein (Wetterberichte).