

# Über die Temperatursprünge in der Ostsee

Von

Dr. Hjalmar Mäe

(Mit 4 Textfiguren)

(Vorgelegt in der Sitzung am 12. Jänner 1928)

In der Ostsee sind mehrmals Temperatursprünge des Oberflächenwassers beobachtet und untersucht worden. Als Ursache wurde ausschließlich das kalte Auftriebwasser bei ablandigen Winden angenommen. Schon A. v. Humboldt hat im Sommer 1834 zwischen Leba und Rixhöft einen plötzlichen Fall<sup>1)</sup> der Temperatur des Oberflächenwassers von 22° auf 11° C. beobachtet und meint diese Erscheinung nur durch kalte Oberflächenströmungen erklären zu können. Th. Homén knüpft daran die Bemerkung, daß dieser Temperaturfall durch das Abfließen des erwärmten Oberflächenwassers bei Landwind bedingt war. Krümmel erwähnt denselben Fall, führt als Ursache das kalte Auftriebwasser bei anhaltenden Landwinden an dieser Stelle an und bringt dazu noch ein weiteres Beispiel. G. Schott ist in seiner Phys. Meereskunde derselben Meinung und fügt noch die Bemerkung bei, daß solche Fälle sehr selten vorkommen. Ich habe im folgenden diese Temperatursprünge in der Ostsee näher untersucht und habe gefunden, daß diese durchaus nicht selten vorkommen und nicht immer bei Landwind, und daß sie oft in ausgedehnten Gebieten gleichzeitig vorkommen. Hier genügt also die einfache Annahme von ablandigen Winden nicht, man muß vielmehr nach einer anderen Ursache suchen.

Ich bin Herrn Prof. Dr. A. Defant-Berlin für die Anregung zu dieser Untersuchung zu großem Dank verpflichtet, auch danke ich an dieser Stelle den Herren Prof. Dr. A. Wagner-Innsbruck und Dozenten Dr. A. Schedler-Wien für mannigfache Ratschläge bei der Ausarbeitung.

Material: Ich war zwar bemüht, für das ganze Gebiet der Ostsee längere Beobachtungsreihen zu sammeln, jedoch erwies sich diese Mühe meist als vergeblich. Folgendes Material konnte zustande gebracht werden:

Aus den dänischen Gewässern ist ein langjähriges und zuverlässiges Beobachtungsmaterial vorhanden, von welchem die Jahre 1900 bis 1924 verwendet wurden. Die dänischen Beobachtungsstellen geben die Wassertemperaturen für 8<sup>h</sup> vormittags, die

<sup>1</sup> Siehe Krümmel, Handbuch der Ozeanographie, Bd. II, p. 539; Th. Homén, Finnl. hydrogr.-biolog. Untersuchungen Nr. 1, p. 3; G. Schott, Physikalische Meereskunde, p. 68; R. Witting, Finnl. hydr.-biolog. Untersuchungen Nr. 7, p. 55.

Lufttemperatur auch zu anderen Tageszeiten, außerdem tägliche Wind-, Strom- und Salzgehaltbeobachtungen an. Täglich sind auch die Temperaturbeobachtungen des Tiefenwassers angegeben. Bei der in dieser Untersuchung vorkommenden Station Christiansö ist nur die Wassertemperatur und der Salzgehalt an der Oberfläche angegeben, weswegen ich die Lufttemperaturbeobachtungen von der benachbarten Station Hammershus auf Bornholm benützt habe.

Aus der offenen Ostsee liegen gar keine regelmäßigen Beobachtungen vor, obwohl dazu durch die Insel Gotland eine günstige Gelegenheit gegeben wäre. Die vorhandenen Schiffsbeobachtungen konnten nicht benützt werden, da diese mehr zufälliger Natur sind und die vorliegende Untersuchung sich nur auf regelmäßige tägliche Beobachtungen an einem und demselben Ort stützen kann.

Von der deutschen Ostseeküste fehlen die Beobachtungen ganz, und trotz meiner Bemühungen gelang es mir nicht, von irgendeiner deutschen Zentralstelle sicher zu erfahren, ob Wassertemperaturbeobachtungen in früheren Jahren vorgenommen worden sind oder nicht. Auf dem Feuerschiff Adlergrund sind in den Jahren 1911 bis 1913 regelmäßige Wassertemperaturbeobachtungen ausgeführt worden, das Material wurde aber im Jahre 1919 vernichtet. Erst ab 1922 werden an den Feuerschiffen Adlergrund und Fehmarnbelt regelmäßige Wassertemperatur- und Strombeobachtungen durchgeführt, dieses Material ist jedoch noch nicht im Druck veröffentlicht und konnte mir daher nicht zur Verfügung stehen. An der deutschen Küste wird die Wassertemperatur nur im inneren Hafen von Swinemünde regelmäßig gemessen, die Beobachtungen werden aber nicht aufbewahrt. Die von einigen Seebädern vorgenommenen Wassertemperaturbeobachtungen kommen wegen ihrer Unzuverlässigkeit überhaupt nicht in Betracht.

Von der litauischen und lettländischen Küste liegen noch keine regelmäßigen Beobachtungen vor, werden aber an der lettländischen Küste in neuerer Zeit eingerichtet. Die Beobachtungen, die an dieser Küste in früheren Jahren von der russischen Regierung vorgenommen wurden, sind teilweise in den Kriegsjahren vernichtet, teilweise aber unerreichbar.

Von der estnischen Küste liegen regelmäßige Beobachtungen der Wassertemperatur erst seit 1925 vor, die in Abschriften mir zur Verfügung standen. Diese Beobachtungen sind aber sehr unzuverlässig und werden, nach den angegebenen Temperaturen zu urteilen, wohl ganz an der Küste oder an einer ungeeigneten Stelle (stehende Gewässer) vorgenommen.

Von der russischen Küste liegen mir die 20jährigen Beobachtungen von Kronstadt in Abschriften vor, konnten aber aus Mangel an zusammenhängendem Material von den anderen Küsten des Finnischen Meerbusens nicht verwendet werden.

Von der finnischen Küste ist ein langjähriges und zuverlässiges Beobachtungsmaterial von sehr gut verteilten Stationen vorhanden (1911 bis 1924), welches auch in dieser Untersuchung



Tabelle 1  
der in dieser Untersuchung vorkommenden Stationen.

Station	G. Br.	G. L.	Staat	Art	Beobachtung
1. Plevna . . . . .	65°26' N	24°22' E	finnisch	Feuerschiff	TWS
2. Marjaniemi . . . . .	65 2	24 34	»	Leuchtturm	T
3. Uleaborg . . . . .	65 1	25 27	»	Met. Station	tWB
4. Nahkiainen . . . . .	64 45	23 52	»	Feuerschiff	TWS
5. Ulkokalla . . . . .	64 20	23 27	»	Leuchtturm	T
6. Tankar . . . . .	63 57	22 51	»	»	T
7. Helsingkallan . . . . .	63 37	21 49	»	Feuerschiff	TWS
8. Snipan . . . . .	63 26	20 44	»	»	TWS
9. Välsörarna . . . . .	63 25	21 4	»	Leuchtturm	T
10. Sydostbroten . . . . .	63 19	20 11	schwedisch	Feuerschiff	TtWS
11. Norrkär . . . . .	63 14	20 36	finnisch	Leuchtturm	T
12. Wasa . . . . .	63 5	21 32	»	Met. Station	tWB
13. Storkallegrund . . . . .	62 40	20 43	»	Feuerschiff	TWS
14. Sälggrund . . . . .	62 20	21 11	»	Leuchtturm	T
15. Säbbskär . . . . .	61 29	21 21	»	»	T
16. Relandersgrund . . . . .	61 7	21 7	»	Feuerschiff	TWS
17. Finngrundet . . . . .	61 2	18 31	schwedisch	»	TtWS
18. Enskär . . . . .	60 43	21 1	finnisch	Leuchtturm	T
19. Wiborg . . . . .	60 43	28 47	»	Met. Station	tWB
20. Grundkallen . . . . .	60 30	18 54	schwedisch	Feuerschiff	TtWS
21. Storbotten . . . . .	60 26	19 13	finnisch	»	TWS
22. Märket . . . . .	60 18	19 8	»	Leuchtturm	T
23. Werkkomattala . . . . .	60 17	28 46	»	Feuerschiff	TWS
24. Helsingfors . . . . .	60 10	24 57	»	Met. Observat.	tWB
25. Jungfruskär . . . . .	60 8	21 4	»	Leuchtturm	T
26. Lohm . . . . .	60 7	21 41	»	»	T
27. Mariehamn . . . . .	60 6	19 57	»	Met. Station	tWB
28. Lagskär . . . . .	59 51	19 55	»	Leuchtturm	T
29. Hangö . . . . .	59 49	22 56	»	Met. Station	tWB
30. Utö . . . . .	59 47	21 22	»	Leuchtturm	T
31. Koksikär . . . . .	59 43	25 1	estnisch	»	T
32. Ajaxbank . . . . .	59 42	23 12	finnisch	Feuerschiff	TWS
33. Svenska Björn . . . . .	59 35	19 56	schwedisch	»	TtWS
34. Olegsggrund . . . . .	59 34	21 59	finnisch	»	TWS
35. Bogskär . . . . .	59 31	20 23	»	Leuchtturm	T
36. Odensholm . . . . .	59 18	23 22	estnisch	»	T
37. Filsand . . . . .	58 23	21 50	»	»	TtWB
38. Oelandsrev . . . . .	58 7	16 34	schwedisch	Feuerschiff	TtWS
39. Christiansö . . . . .	55 19	15 12	dänisch	Leuchtturm	T
40. Hammershus . . . . .	55 16	14 47	»	Met. Station	t
41. Drogden . . . . .	55 33	12 43	»	Feuerschiff	TtWS
42. Gjedser Rev . . . . .	54 28	12 10	»	»	TtWS
43. Anholt Knob . . . . .	56 46	11 52	»	»	TtWS
44. Skagens Rev . . . . .	57 46	10 43	»	»	TtWS
45. Lerwick . . . . .	60 8	1 11 W	englisch	Met. Station	Tt
46. Scilly . . . . .	49 55	6 15 W	»	»	Tt

Zeichenerklärungen:

N = Nördliche Breite.

E = Östliche Länge.

W = Westliche Länge.

T = Wassertemperaturbeobachtungen.

t = Lufttemperaturbeobachtungen.

W = Windbeobachtungen.

S = Meeresströmungsbeobachtungen.

B = Bewölkungsbeobachtungen.

werden; die Untersuchung der dänischen Gewässer, in welchen Temperatursprünge nur selten vorkommen, wird zur Erklärung der Erscheinungen im Bottnischen Meerbusen ein sehr wertvolles Hilfsmittel bieten.

Statistisches: Nachdem, wie erwähnt und später noch ausführlich gezeigt wird, in der Ostsee, und besonders im Bottnischen



Kartenskizze 1.

Meerbusen, Temperatursprünge des Oberflächenwassers oft vorkommen, schien es zweckmäßig, zuerst eine statistische Übersicht über diese Erscheinung sowohl in zeitlicher als in räumlicher Hinsicht zu gewinnen. Zu diesem Zweck wurden aus den Temperaturbeobachtungen aller erreichbaren Stationen für die Monate April bis November (eisfreie Zeit) der Jahre 1923 bis 1924 die Temperaturänderungen von einem Tag zum nächsten, die über

1° C. betrogen, ausgezählt. Um zu sehen, ob sich die positiven Temperaturänderungen anders verhalten als die negativen, wurden diese Werte getrennt behandelt. In der Tabelle 2 sind die Häufigkeiten der obgenannten Temperaturänderungen für je drei dänische und finnische Stationen zusammengestellt und wir sehen daraus,

Tabelle 2.

	Skagens Rev	Gjedser Rev	Christi- ansö	Utö	Säbbskär	Ulkokalla
April..	{ - 1	0	0	0	0	0
	{ + 0	0	0	1	2	0
Mai	{ - 3	1	1	2	13	3
	{ + 4	2	0	7	21	6
Juni	{ - 4	6	3	10	16	11
	{ + 8	6	2	8	18	16
Juli.	{ - 4	7	2	4	9	12
	{ + 6	8	7	7	17	17
August....	{ - 1	5	2	6	16	14
	{ + 0	6	1	2	9	12
September	{ - 3	3	1	6	5	9
	{ + 2	2	1	1	6	3
Oktober	{ - 3	1	1	4	9	2
	{ + 2	0	0	1	4	3
November	{ - 7	0	2	3	10	7
	{ + 8	0	2	0	7	5
Summe..	56	47		<b>62</b>	<b>162</b>	<b>120</b>

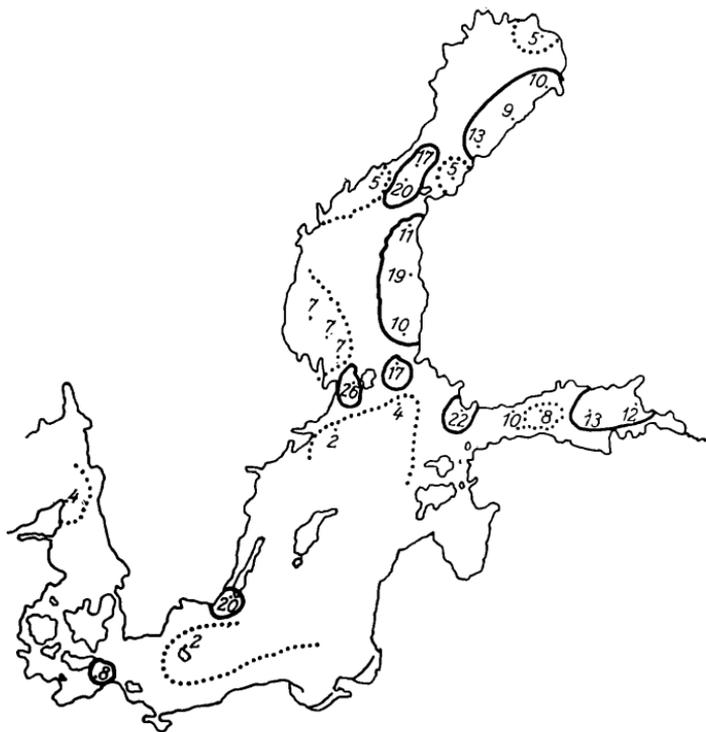
daß die Temperatursprünge in den finnischen Gewässern viel häufiger vorkommen als in den dänischen, z. B. in der finnischen Station Säbbskär  $6\frac{1}{2}$  mal häufiger als in der dänischen Station Christiansö.

Um eine genauere räumliche Übersicht zu erhalten, wurden die Skizzen 2 und 3 gezeichnet. In der Skizze 2 ist die Häufigkeit der obgenannten positiven Temperaturänderungen für die Monate August bis Oktober eintragen. In dieser Kartenskizze sehen wir, daß die häufigsten Temperatursprünge in den Ålandsschwellen, am Nordostufer der Bottensee, in den Schwellen des nördlichen Kvarks und am mittleren Ostufer des Bottenwiecks vorkommen. In den dänischen Gewässern kommen die relativ häufigsten Temperatursprünge in Gjedser Rev (Feuerschiff bei der Darsser Schwelle) vor. In der Skizze 3 sehen wir die räumliche Verteilung der negativen Temperaturänderungen:<sup>1</sup> die Orte der größten Häufigkeit sind die gleichen geblieben. Wir müssen daraus schließen, daß

<sup>1</sup> Aus Platzmangel müssen die Skizzen für die Monate Juni und Juli fortgelassen werden; im wesentlichen kann gesagt werden, daß in diesen Monaten die Temperaturanstiege häufiger sind als die Temperaturfälle; in den Monaten August bis Oktober dagegen überwiegen die Temperaturfälle. Wenn wir dagegen nur die sehr großen Temperatursprünge ins Auge fassen, so sind in allen Monaten die Temperaturfälle wesentlich häufiger.

diese Erscheinung ihre Ursache in einer hydrographischen Besonderheit dieser Orte haben muß.

Zum Verständnis dessen wollen wir uns die hydrographischen Verhältnisse der Ostsee insbesondere nach den Untersuchungen von R. Witting<sup>1</sup> vergegenwärtigen: Wie bekannt, beherbergt die Ostsee zwei ganz verschiedene Wassermassen: in der Tiefe befindet sich salzreiches Wasser ozeanischen Ursprungs, welches von



Kartenskizze 2.

einer bis zu 60 m mächtigen salzarmen Wasserschicht, entstanden durch reiche Süßwasserzufuhr von Flüssen und den durch die dänischen Schwellen verhinderten freien Austausch der Wassermassen mit dem Ozean, überdeckt ist. Alle Erscheinungen, die wir an der Oberfläche der Ostsee beobachten, gehen also in dieser salzarmen oberen Wasserschicht vor sich. In dieser können wir wiederum zwei Schichten unterscheiden, nämlich eine noch etwas salzärmere und wesentlich höher temperierte Oberflächenschicht und darunter eine kühlere und etwas salzreichere Zwischenschicht. Die Grenze liegt in der warmen Jahreszeit, in welcher diese Unterschiede hauptsächlich ausgeprägt sind, in etwa 10 bis 20 m Tiefe.

<sup>1</sup> R. Witting, Finn. hydrogr.-biolog. Untersuchungen Nr.

Diese salzarme Deckschicht der Ostsee ist beständig in Bewegung. Im allgemeinen strömt das salzarme Ostseewasser durch die dänischen Schwellen an der Oberfläche in die Nordsee hinaus, während zugleich in der Tiefe salzreichereres ozeanisches Wasser in die Ostsee hineinströmt. Es ist also das Oberflächenwasser in der Ostsee zumeist nach Süden hin in Bewegung. Diese allgemeine Zirkulation wird aber noch durch andere Strömungen in der Ostsee und deren Meerbusen kompliziert. R. Witting hat in seiner



Kartenskizze 3.

»Hydrographie des Finnischen und Bottnischen Meerbusens etc.« eine sehr gute Übersicht über die Wasserbewegungen und mittleren Temperaturverhältnisse des Bottnischen Meerbusens, der uns ja am meisten interessiert, gegeben. Vergleichen wir die Strömungskarte von R. Witting mit unseren Kartenskizzen 2 und 3, so sehen wir, daß gerade an jenen Stellen, an welchen bei uns die häufigsten Temperaturschwankungen vorkommen, sich nach Witting ein aufsteigender, also sich aufstauender Tiefenstrom befindet, oder der Tiefenstrom passiert eine Schwelle.

Und nun zeigen die Isothermenkarten für den Bottnischen Meerbusen, daß sowohl dort, wo der Tiefenstrom aufsteigt, als

auch wo er eine Schwelle passiert, die Flächen gleicher Temperatur sehr nahe an die Oberfläche zusammengedrängt sind. Aus den von Witting für verschiedene Tiefen gegebenen Tafeln der mittleren Temperatur sehen wir, daß gerade an diesen Stellen in der Tiefe das Wasser kälter ist als anderswo in gleicher Tiefe.

Kurz zusammengefaßt können wir also sagen, daß die größte Häufigkeit von Temperatursprüngen gerade dort vorkommt, wo entweder der Tiefenstrom nach aufwärts geht oder wo er eine Schwelle passiert, wo also bereits in geringer Tiefe relativ kaltes Wasser anzutreffen und wo ein Bloßlegen des kalten Tiefenwassers am ehesten zu erwarten ist.

Bevor wir aber den Zusammenhang des Tiefenwassers mit den Temperatursprüngen an der Oberfläche näher untersuchen, wollen wir zuerst noch die jahreszeitliche Verteilung dieser Temperatursprünge statistisch behandeln.

Aus der Tabelle 2 ist auch die Häufigkeit der untersuchten Temperatursprünge in den einzelnen Monaten zu entnehmen. Als Häufigkeiten von allen sechs Stationen zusammen erhalten wir für die Monate April bis November folgende Werte:

IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
4	63	<b>109</b>	<b>110</b>	74	42	30	51

Es ergibt sich daraus, daß im Frühsommer ein sehr stark ausgeprägtes Maximum vorhanden ist und daß derartige Sprünge im April einerseits, September bis November andererseits nur recht selten sind. In den Wintermonaten Dezember bis einschließlich März habe ich überhaupt keine Temperatursprünge des Oberflächenwassers von mindestens 1° C. von einem Tag zum nächsten gefunden.

Die Zeit des Maximums der Temperatursprünge stimmt ungefähr mit der Zeit des stärksten mittleren Anstieges der Wassertemperatur überein. Wie aus den von Witting zusammengestellten mittleren jährlichen Temperaturgängen<sup>1</sup> zu ersehen ist, tritt der stärkste Temperaturanstieg auf den Feuerschiffen zumeist von Juni zu Juli, an seichten Küstenstationen von Mai zu Juni oder vereinzelt auch von April zu Mai auf.

Um einen etwaigen Zusammenhang zwischen der Luft- und Wassertemperatur festzustellen, ist es am zweckmäßigsten, Korrelationsfaktoren zu bilden.<sup>2</sup>

Die aus allen Einzelwerten gebildeten Korrelationsfaktoren führen naturgemäß zu einem trivialen Resultat und besagen nur, daß der mittlere jährliche Temperaturgang in Luft und Wasser sehr nahe parallel ist. Tatsächlich erhalten wir auf diese Weise, wie aus Tabelle 3 zu ersehen ist, sehr hohe Korrelationsfaktoren, die zumeist größer als 0·9 sind. Es sei hier nur auf die lokalen

<sup>1</sup> R. Witting, Finnl. hydrogr.-biolog. Untersuchungen Nr. 8.  
Siehe p. 10.

Verschiedenheiten hingewiesen: An den schon frei im Ozean oder der Nordsee gelegenen englischen Stationen ist der Korrelationsfaktor kleiner (im Mittel 0·83) als in den finnischen (0·87) und in den dänischen Gewässern (0·92). Es ist also der Jahreskorrelationsfaktor in den vom Ozean mehr landwärts gelegenen Stationen größer.

Wollen wir dagegen eine Wechselwirkung zwischen der Luft- und Wassertemperatur nachweisen, müssen wir den jährlichen Gang ausschalten und Korrelationsfaktoren für kürzere Zeiträume, etwa

Tabelle 3.

Monat	Station							
	Skagens Rev	Anholt Knol	Gjedser Rev	Christiansö	Norrskär	Russarö	Lerwick	Scilly
Jänner	-0·10	0·12	<b>0·56</b>	<b>0·52</b>	<b>0·81</b>	<b>0·64</b>	<b>0·54</b>	0·18
Februar	<b>0·79</b>	0·41	<b>0·59</b>	0·39	<b>0·76</b>	<b>0·70</b>	0·38	<b>0·36</b>
März	<b>0·71</b>	<b>0·52</b>	<b>0·82</b>	<b>0·63</b>	0·49	0·48	0·32	0·35
April	<b>0·89</b>	<b>0·83</b>	0·47	<b>0·57</b>	<b>0·75</b>	<b>0·56</b>	<b>0·89</b>	0·29
Mai	<b>0·80</b>	<b>0·87</b>	<b>0·93</b>	<b>0·76</b>	<b>0·56</b>	<b>0·53</b>	0·26	<b>0·65</b>
Juni	<b>0·57</b>	<b>0·81</b>	<b>0·57</b>	<b>0·74</b>	0·48	<b>0·53</b>	0·25	-0·50
Juli	<b>0·77</b>	<b>0·60</b>	<b>0·79</b>	<b>0·57</b>	<b>0·57</b>	0·48	0·27	0·26
August	<b>0·85</b>	<b>0·64</b>	0·30	<b>0·56</b>	<b>0·76</b>	0·44	<b>0·55</b>	0·12
September	<b>0·62</b>	<b>0·85</b>	<b>0·75</b>	<b>0·62</b>	<b>0·84</b>	<b>0·71</b>	0·48	0·18
Oktober	<b>0·76</b>	<b>0·76</b>	<b>0·75</b>	<b>0·66</b>	<b>0·83</b>	<b>0·81</b>	<b>0·83</b>	<b>0·66</b>
November	0·36	0·40	<b>0·52</b>	0·50	<b>0·77</b>	<b>0·63</b>	0·41	
Dezember	<b>0·77</b>	<b>0·65</b>	0·44	0·28	<b>0·70</b>	<b>0·73</b>	0·25	0·37
Jahr	<b>0·93</b>	<b>0·95</b>	<b>0·92</b>	<b>0·87</b>	<b>0·86</b>	<b>0·88</b>	<b>0·82</b>	<b>0·85</b>

Monate, bilden. Diese sind ebenfalls in der Tabelle 3 für alle Monate des Jahres 1921 für vier dänische und zwei finnische Stationen zusammengestellt. Diejenigen Korrelationsfaktoren, die mindestens sechsmal größer als der wahrscheinliche Fehler sind, sind fett gedruckt. Betrachten wir vorerst die Korrelationsfaktoren aus den dänischen und finnischen Gewässern, so ergibt sich in den meisten Monaten eine recht gut ausgeprägte Beziehung; im Winter allerdings, solange das Meer im Bereiche der betreffenden Station vereist ist, sind die Korrelationsfaktoren unbefriedigend, das war aber von vornherein zu erwarten. Die besten Korrelationsfaktoren

<sup>2</sup> Zu p. 9. Der Korrelationsfaktor wurde nach der Formel von Conrad und Schedler berechnet

$$r = \frac{\sum xy - \frac{1}{n} \sum x \sum y}{\sqrt{\left[ \sum x^2 - \frac{1}{n} \left( \sum x \right)^2 \right] \left[ \sum y^2 - \frac{1}{n} \left( \sum y \right)^2 \right]}}$$

und  $y$  = Werte der Temperatur,  
 $n$  = Anzahl der Tage.

Der wahrscheinliche Fehler wurde nach folgender Formel festgestellt:

$$f = 0·6745 (1 - r^2) \sqrt{n}.$$

treten durchwegs im Mai, Juni und Juli auf, also in den Monaten der häufigsten Temperaturschwankungen.

Während früher die räumliche Verteilung der Temperaturschwankungen deutlich darauf hinwies, daß die Temperatur des Tiefenwassers die wesentliche Ursache der auftretenden Temperatursprünge sei, müssen wir nach der jahreszeitlichen Verteilung der Korrelationsfaktoren und deren Größe im Sommer schließen, daß wenigstens scheinbar eine beträchtliche Beeinflussung der Wassertemperatur durch die Lufttemperatur bei Witterungswechsel anzunehmen ist.

Betrachten wir hingegen das Verhalten der Korrelationsfaktoren im Laufe des Jahres an den englischen Stationen, so finden wir durchwegs viel kleinere Werte, sie genügen durchaus nicht, um eine Beziehung sicher zu stellen. Wir können vorläufig nur sagen, daß die hohen Korrelationsfaktoren eine besondere Eigenschaft der Ostsee (und vielleicht überhaupt von kleineren Binnenmeeren) zu sein scheinen und daß erst eine nähere Untersuchung von Einzelfällen feststellen kann, ob die vermutete Beziehung reell ist.

Es werden daher im folgenden besonders markante Einzelfälle synoptisch behandelt, und zwar zuerst die negativen Temperatursprünge, sodann die positiven.

### I. Der Temperaturfall in der Zeit vom 11. bis 21. August 1911.

Allgemeine Wetterlage: Am 11ten lagert ein Hochdruckgebiet über der Ostsee, der Bottnische Meerbusen ist ganz unter antizyklonalem Einfluß, schwache Winde oder Windstille, heiter. Am 13ten ist in der 765-*mm*-Isobare, die vom Weißen Meer nord-südlich nach dem Balkan verläuft, in der Höhe des Finnischen Meerbusens eine Einbuchtung, die eine rückläufige Zyklone verrät. Am 14ten hat diese sich auch gegen W vorgeschoben und vertieft sich über Estland von 760 *mm* auf 745 *mm*. Bei diesem Druck

Tabelle 4.

Wassertemperaturen in ° C. um 14<sup>h</sup>:

	A u g u s t										
Station:	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.	18.	19.	20.	21.
Plevna	19·5	19·0	19·2	17·0	18·0	13·0	11·0	<b>8·8</b>	<b>8·8</b>	11·8	9·2
Nahkiainen	18·4	17·2	18·0	17·0	15·8	12·8	<b>8·0</b>	<b>8·0</b>	8·8	9·4	8·6
Ulkokalla	18·8	18·4	18·8	16·6	16·6	16·2	8·2	<b>7·0</b>	8·4	7·8	7·8
Helsingkallan	19·6	17·3	18·0	17·2	16·8	13·4	<b>10·4</b>	11·0	12·4	12·4	12·6
Snipan	19·6	18·8	16·0	15·8	16·4	10·2	12·2	11·8	<b>8·0</b>	9·2	12·6
Storkallegrund	20·2	18·5	17·6	18·0	17·5	11·0	3·8	<b>3·5</b>	3·8	6·5	9·8
Säbbskär	22·9	22·0	18·6	18·6	16·4	10·6	<b>6·0</b>	7·0	8·0	8·0	8·8
Relandersgrund	21·2	21·0	20·4	19·0	18·4	9·2	<b>5·0</b>	5·4	6·4	7·2	7·8
Finngrundet	19·6	19·1	19·0	18·3	17·6	13·6	11·4	13·2	<b>10·7</b>	11·1	10·9

Lufttemperatur in ° C. um 14<sup>h</sup>:

Wasa	19·5	18·6	13·2	14·0	12·0	11·3	<b>6·0</b>	7·9	7·9	7·5	11·0
------	------	------	------	------	------	------	------------	-----	-----	-----	------

verbreitet sich die Zyklone und bleibt fast stationär bis zum 20ten. Ein Hochdruckgebiet, das am 16ten über England lagert, umkreist die Zyklone über W nach S, ist aber schwach ausgebildet. Am 20ten hat sich die Zyklone nunmehr zum großen Teil ausgefüllt, nachdem der Druck auch am 19ten noch immer 745 *mm* betrug, und zieht am 21ten rasch nach NE ab. Die Werte für die Temperatur- und Tiefenbeobachtungen für diesen Fall sind in den Tabellen 4 und 5 gegeben.

Tabelle 5.

Änderungen der Tiefentemperatur in ° C. und des Salzgehaltes in ‰.

Station:	0 <sub>m</sub> <i>t</i> <sub>11</sub> — <i>t</i> <sub>21</sub>	11 ten <i>t</i> <sub>0</sub> — <i>t</i> <sub>20</sub>	21 ten <i>t</i> <sub>0</sub> — <i>t</i> <sub>20</sub>	11 ten <i>S</i> <sub>0</sub> — <i>S</i> <sub>20</sub>	21 ten <i>S</i> <sub>0</sub> — <i>S</i> <sub>20</sub>	20 <sub>m</sub> Δ <i>S</i>	0 <sub>m</sub> Δ <i>S</i>
Nahkiainen	9·4	10·0	0·6				
Ulkokalla . . . . .	11·0	11·2	1·4	—0·04	—0·01	+0·01	+0·06
Helsingkallan. . . . .	7·0	7·6	1·2	—0·24	—0·07	—0·11	+0·04
Snipan . . . . .	7·0	13·7	8·3	—1·12	—0·85	+0·10	+0·38
Storkallegrund. . . . .	10·4	13·9	7·4	—0·20	—0·36	+0·20	+0·04
Relandersgrund . . . . .	13·4	11·4	1·5	0·05	0·00	+0·20	+0·05
Finngrundet. . . . .	8·7	9·0	0·2				
Storbotten	9·0	10·8	0·2	—0·33	—0·07	—0·06	+0·20
Märket . . . . .				—0·36	—0·04	—0·22	+0·10

Anmerkung: Kol. 1 Änderung der Oberflächentemperatur vom 11. zum 21. August.

Kol. 2 und 3: Temperaturunterschied zwischen Oberfläche und 20 *m* Tiefe am 11., bzw. 21. August.

Kol. 4 und 5: Unterschied des Salzgehaltes zwischen Oberflächenwasser und 20 *m* Tiefe am 11., bzw. 21. August in ‰.

Kol. 6 und 7 Änderung des Salzgehaltes in ‰ vom 11. zum 21. August in 20 *m* Tiefe, bzw. im Oberflächenwasser.

Temperatur, Winde und Meeresströmungen: Der antizyklonale Wettercharakter äußert sich auch in allen anderen meteorologischen und hydrographischen Elementen. Am 11ten herrschen schwache Süd- bis Südwestwinde, die Meeresströmungen sind schwach und unregelmäßig, doch überwiegt noch die Richtung nach N. Die Luft- und Wassertemperatur erreichen, wie aus der Tabelle 4 zu ersehen ist, am 11ten und 12ten beinahe überall das Maximum. Die Strömungen werden noch unregelmäßiger und in der Bottensee etwas intensiver. Die Winde springen nach N über, sind aber noch schwach. Am 14ten ist die Zyklone deutlich, besonders in südlichen Gegenden, bemerkbar, die Winde verstärken sich, die Strömung geht fast überall nach S. Nur in Snipan schlägt die Strömung um Mittag nach E, ist aber abends wieder nach S gerichtet. In Svenska Björn herrscht ein starker Südstrom. Am 15ten wird dieses Bild ausgeprägter, die Strömung ist in der Bottensee und Snipan nach S gerichtet, nur im nördlichen Bottenwiek, wo noch schwache Ostwinde herrschen, ist die Strömung schwach und nach W gerichtet. Am 16ten sind infolge der starken Ausbreitung der Zyklone die Winde überall bis zur Windstärke 8 bis 10 angewachsen, demgemäß auch die Strömungen. Besonders stark ist die Strömung in der Schwelle bei Snipan. Die Luft-

temperatur ist gefallen und ist jetzt durchschnittlich  $10^{\circ}$  C., während sie am 11ten und 12ten durchschnittlich  $21^{\circ}$  C. war. Die Wassertemperatur ist seit dem Vortag stark gefallen, wie es aus der Tabelle 4 deutlich ersichtlich ist. Überall herrschen starke nördliche Winde und die starke Strömung geht durchwegs nach S im ganzen Gebiet des Bottnischen Meerbusens.<sup>1</sup> Am 17ten herrschen noch immer sehr starke Nordwinde und auch die Strömung hat sich seit dem Vortag nicht geändert. Die Luft- und die Wassertemperatur erreichen am 17ten und 18ten das Minimum, in Storkallegrund erreicht sie sogar, nachdem sie um  $16.7^{\circ}$  C. gefallen ist,  $3.5^{\circ}$  C., welche Temperatur dort am 11ten nur unterhalb 30 m Tiefe zu finden war. Im ganzen Bottnischen Meerbusen ist die Wassertemperatur, wie aus der Tabelle 5 zu ersehen ist, über  $9^{\circ}$  gefallen, an der finnischen Seite der Bottensee über  $16^{\circ}$ , im Bottenwieck über  $10^{\circ}$  C., am meisten in den in der Skizze 2 und 3 hervorgehobenen Stellen. Am 18ten sind die Nordwinde etwas abgeschwächt, in der Bottensee herrscht noch mäßige Strömung nach S. Im Bottenwieck ist durch den starken Wind wahrscheinlich sogar eine Niveaudifferenz entstanden, so daß am 18ten in Snipan und Helsingkallan schon ein intensiver Strom nach N eingesetzt hat. Am 19ten herrscht im ganzen Bottnischen Meerbusen eine nach N gehende Strömung. Die Wassertemperatur beginnt wieder langsam zu steigen, geht aber bei den wenigsten Stationen höher als  $10^{\circ}$  C. und bleibt in dieser Höhe bis zum allgemeinen Abstieg der Temperatur; die Lufttemperatur steigt ebenfalls. Am 20ten sehen wir wieder das anfängliche Bild in den Meeresströmungen und Winden: schwache Ost- bis Nordwestwinde, schwache unregelmäßige Strömungen oder Stille.

Nun wollen wir einige charakteristische Züge aus dem beschriebenen Temperaturfall besonders hervorheben: Wie uns diese Erscheinung zeigt, kam ein Temperaturfall in der Wassertemperatur beinahe gleichzeitig im ganzen Gebiet des Bottnischen Meerbusens und im angrenzenden Teil der Ostsee vor. Die maßgebenden Winde waren für die meisten Stationen keine Landwinde. Die starke Strömung kam bei anhaltenden starken Nordwinden zu stande, welche durch eine rückläufige, also im Bottnischen Meerbusen einige Tage stationäre Zyklone verursacht wurden. Aus Tabelle 4 ist ersichtlich, daß im Bottenwieck, so wie in der Bottensee, das Fallen der Wassertemperatur in den nördlichsten Gegenden dieser beiden Teile des Bottnischen Meerbusens anfang und dann erst im ganzen Bottnischen Meerbusen gleichzeitig auftritt. Nach dem erreichten Minimum in der Wassertemperatur steigt diese nur langsam und wenig, und bleibt bis zum allgemeinen Abfall der Temperatur

---

<sup>1</sup> Anmerkung. Die Werte für Sydstobrotten halte ich für falsch (am 16ten Wind NNE 10 und ein starker Strom nach NW, am 17ten Wind N 8 und ein starker Strom nach N). Bemerkte sei, daß Schweden wie Finnland die Stromrichtung nach gleichem System angibt, wie die Windrichtung und der Fehler aus diesem Grund entstanden sein kann.

sehr bedeutend unter dem Wert der Wassertemperatur, die vor dem Fall herrscht.

Wenn wir die Tiefentemperaturen vor und nach dem Fall anschauen, sehen wir aus der Tabelle 5, daß vor dem Temperaturfall überall im Wasser ein starkes vertikales Temperaturgefälle vorhanden war, während am 21ten kaum noch eine Differenz zu finden ist.<sup>1</sup> Die Temperatur, die nach dem Temperaturfall an der Oberfläche herrscht, ist tiefer als das Minimum der Lufttemperatur und war vor dem Fall nur in größerer Tiefe zu finden. Die Salzgehaltbeobachtungen zeigen, daß nach dem Temperaturfall in allen Stationen der Salzgehalt der Oberfläche größer geworden ist; in der Tiefe hat der Salzgehalt in den nördlichen Stationen des Bottenwiecks und der Bottensee zugenommen, in der südlichen — abgenommen (obwohl der Salzgehalt an der Oberfläche gestiegen ist). Vor dem Fall war im Salzgehalt des Tiefenwassers eine ausgeprägte Schichtung vorhanden, welche nach dem Fall beinahe ganz fehlt, ja, in den südlichen Teilen des Bottenwiecks und der Bottensee ist eine mächtige homohaline Wasserschicht entstanden.

## II. Der Temperaturanstieg und -fall von 15. bis 23. Juni 1913.

Dieser Temperaturanstieg und -fall ist glücklicherweise so kraß, daß er aus den Temperaturreihen des Jahres 1913 sofort in die Augen fällt. Auch das finnische Institut für Meereskunde hat bei der Bearbeitung des Beobachtungsmaterials von 1913 diesen

Tabelle 6.

Station	15 ten			16 ten			17 ten			18 ten		
	7h a.	2h p.	9h p.	7h a.	2h p.	9h p.	7h a.	2h p.	9h p.	7h a.	2h p.	9h p.
Plevna . . . . .	7·0	7·3	7·3	8·0	8·3	10·0	9·6	<b>10·0</b>	9·5	7·5	5·5	6·0
Nahkiainen . . .	7·0	7·5	7·2	7·3	8·0	10·0	10·4	<b>11·5</b>	9·5	7·5	7·6	7·6
Helsingkallan .	6·6	8·0	7·6	7·2	10·0	8·6	7·8	<b>14·6</b>	8·4	6·0	6·0	6·2
Snipan . . . . .	6·9	7·9	7·6	7·9	<b>10·4</b>	8·9	9·9	<b>10·1</b>	9·9	7·4	6·9	8·4
Storkallegrund.	8·0	9·0	8·2	8·2	9·0	10·0	10·2	10·6	<b>10·7</b>	7·8	6·8	5·6
Relandersgrund	8·0	8·6	8·8	8·8	9·6	9·0	9·0	<b>10·8</b>	10·6	10·2	8·8	7·4
Storbotten . . . .	9	12	10	10	11	11	10	<b>12</b>	<b>12</b>	10	8	7

Fall bemerkt und diesen ausdrücklich dadurch hervorgehoben, daß für die Zeit dieses Anstieges und Falles alle drei Terminbeobachtungen der Wassertemperatur von den Feuerschiffen in Sonder tabellen abgedruckt sind. Dadurch war es mir ermöglicht, drei

<sup>1</sup> Anmerkung: Bemerkte sei, daß in der Tabelle 5 die Tiefenbeobachtungen nur vom 11ten und 21ten aufgenommen werden konnten. da diese nur dreimal monatlich gemacht werden. Dadurch ist auch zu erklären, daß in Snipan und Storkallegrund das Temperaturgefälle am 21ten wieder ziemlich groß geworden ist, weil eben die Oberflächentemperatur dort seit dem 18ten, beziehungsweise 19ten schon wieder stark gestiegen war.

synoptische Karten für jeden Tag zu zeichnen und so die Erscheinung näher zu verfolgen. Im folgenden wird der Temperaturfall näher beschrieben, während die Besprechung des Temperaturanstieges später folgt.

Allgemeine Wetterlage: Am 15ten lagert über Mittel- und Nordeuropa ein ausgedehntes Hochdruckgebiet. Der Bottnische Meerbusen ist ganz unter antizyklonalem Einfluß, schwache Winde, beziehungsweise Windstille, heiter. Am 16ten deuten die Isobaren das Herannahen einer Zyklone von E her. Am 17ten hat sich diese auch weiter vorgeschoben und fängt an, die Ostsee zu beherrschen. Am 18ten und 19ten ist der Bottnische Meerbusen so wie die Ostsee ganz unter dem Einfluß dieser Zyklone, die sich mit einer anderen Zyklone, die über England lagert, vereinigen will. Am 20ten ist die über England lagernde Zyklone ausgefüllt, von N und SW schieben sich Hochdruckgebiete vor. Die östliche Zyklone hat sich etwas zurückgezogen, beherrscht aber noch immer die Winde im Bottnischen Meerbusen. Am 21ten hat sich das Hochdruckgebiet auf Skandinavien verlagert und die Zyklone nach E verdrängt; ab 22ten beherrscht den Bottnischen Meerbusen wieder die antizyklonale Wetterlage. Die Beobachtungswerte zu diesem Temperaturanstieg und -fall sind in den Tabellen 6 und 7 gegeben.

Temperatur, Winde und Meeresströmungen: Am 15ten ist im Bottnischen Meerbusen die antizyklonale Wetterlage gut ausgeprägt, die Strömungen in der Bottensee sind schwach und unregelmäßig, ebenso die Winde; im Bottenwiek überwiegt eine

### Wassertemperaturen ° C.

19ten			20ten			21ten			22ten			23ten	
7h a.	2h p.	9h p.	7h a.	2h p.	9h p.	7h a.	2h p.	9h p.	7h a.	2h p.	9h p.	7h a.	2h p.
5·3	5·5	6·0	6·0	7·0	7·3	6·7	7·0	7·5	7·0	7·3	8·5	7·0	9·0
7·4	8·0	7·8	7·0	7·0	7·0	7·8	8·0	7·8	8·2	9·0	9·0	9·0	10·5
5·0	5·9	8·2	6·0	6·4	7·2	7·6	8·0	8·0	8·2	8·2	7·8	7·8	7·8
5·8	6·4	6·4	6·4	6·9	6·9	7·4	10·4	9·9	8·9	9·6	9·4	9·9	10·9
5·0	4·5	4·2	3·3	3·7	2·6	4·0	5·6	4·5	5·8	7·6	7·6	8·0	8·2
5·6	5·4	5·4	5·6	5·8	5·4	5·4	6·2	5·8	6·4	8·2	7·8	7·8	10·0
5	5	5	5	6	6	6	6	6	6	7	8	9	9

schwache Strömung nach N. Die Luft- und Wassertemperaturen, wie aus der Tabelle 6 zu ersehen ist, steigen rasch, besonders begünstigt durch die vielfache Wind- und Stromstille im ganzen Bottnischen Meerbusen am 16ten; erst nach Mittag des 17ten werden die Winde, so wie auch die Strömungen lebhafter. Die Wasser- und Lufttemperatur erreichen beinahe überall das Maximum. Am 18ten setzt im Bottnischen Meerbusen ein starker Nordwind und eine starke Strömung nach S ein, die Wassertemperatur fällt bedeutend. Am 19ten erreicht die Wassertemperatur im Bottnischen Meerbusen zugleich mit der Lufttemperatur das Minimum, wobei

die Wassertemperatur durchwegs niedriger ist als die Lufttemperatur. Die Wassertemperatur ist im ganzen Bottnischen Meerbusen bis um  $9.6^{\circ}$  C. gefallen. Die Strömungen im Bottenwiek werden etwas langsamer, in der Bottensee nicht: Der Wind flaut im N ab. Am 20ten werden die Strömungen schwach und unregelmäßig, vielfach ist Wind- und Stromstille eingetreten. Am 22ten ist der Bottnische Meerbusen wieder unter antizyklonalem Einfluß, die Strömungen und Winde sind schwach und unregelmäßig, die Temperaturen steigen rasch.

Es seien einige charakteristische Merkmale hervorgehoben: Es findet der Temperaturfall im ganzen Gebiet des Bottnischen Meerbusens statt. Die Winde waren für die meisten Stationen keine Landwinde. Die starken nach S gerichteten Strömungen kamen bei

Tabelle 7.  
Lufttemperaturen  $^{\circ}$  C.

Station	J u n i							
	15.	16.	17.	18.	19.	20.	21.	
Uleaborg ..	..10.8	11.8	14.8	8.6	<b>6.6</b>	9.0	12.8	13.4
Wasa ....	...12.2	14.8	15.2	8.0	<b>7.0</b>	10.0	14.4	12.4
Sydostbrodden	..11.8	13.5	12.0	9.9	<b>8.0</b>	10.2	14.0	13.0
Mariehamn	9.6	12.0	12.0	14.2	<b>8.0</b>	10.4	11.8	10.0
Helsingfors	8.5	10.7	12.6	15.9	8.6	<b>8.0</b>	9.0	11.4

Salzgehalt  $\text{‰}$ , am 11. und 21. Juni 1923.

	Nördliche Stationen		südliche Stationen	
	Plevna <sup>1</sup>	Storkallegrund	Nahkiainen	Relandersgrund
0	1.84—2.81	5.39—5.43	3.50—3.37	5.70—5.54
10	2.86—3.01	5.41—5.46	3.50—3.37	5.70—5.55
20	2.95—3.04	5.43—5.52	3.50—3.37	5.73—5.55

<sup>1</sup> 0, 5 und 10 m.

anhaltenden starken Nordwinden zu stande, die durch eine rückläufige, mehrere Tage am Bottnischen Meerbusen stationär gebliebene Zyklone hervorgerufen wurden. Wie aus der Tabelle 6 zu ersehen ist, begann das Fallen der Temperatur in den nördlichen Gegenden der beiden Teile des Bottnischen Meerbusens.

Nach dem Temperaturfall beginnt die Wassertemperatur wieder rasch zu steigen und ist bereits nach 5 Tagen in den meisten Stationen schon ebenso hoch oder höher als vor dem Fall. Aus den Tiefentemperaturbeobachtungen kann man sich leider kein klares Bild bilden, da diese Beobachtungen nur dreimal monatlich vorgenommen werden, was im ansteigenden Ast der Temperatur entschieden zu wenig ist. Das Oberflächenwasser wird nach dem Fall sehr schnell wieder erwärmt, so daß in einigen Tagen wieder eine starke Sprungschicht entsteht. Es zeigt sich nur, daß die Tiefentemperaturen im allgemeinen gestiegen sind. Deutlicher ist die Verteilung des Salzgehaltes in der Tabelle 7. Die dort als Beispiele

gegebenen Beobachtungen zeigen, daß in den nördlichen Stationen nach dem Temperaturfall der Salzgehalt an der Oberfläche und in der Tiefe gestiegen ist, in den südlichen ist er gefallen, und es herrscht bis 20 *m* Tiefe ein vollkommen homohalines Wasser.

### III. Temperaturfall vom 2. bis 10. August 1924.

Allgemeine Wetterlage: Am 2ten lagert ein ausgedehntes, nach N hin offenes Tiefdruckgebiet über Nordengland und Island; ein zweites lagert über dem Schwarzen Meere. Von SW schiebt sich ein Hochdruckgebiet vor. Über ganz Europa zieht sich ein Hochdruckrücken von NNE nach SSW, der in seinem nördlichen Teil die Ostsee der Länge nach bedeckt. Am 3ten haben sich Hochdruckgebiete von SW und NE weit vorgeschoben und das Tief nach W verdrängt; vom Tiefdruckgebiet ist eine kleine

Tabelle 8.  
Wassertemperaturen.

Station	A u g u s t								
	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	
Plevna	.21·2	21·8	21·3	21·3	19·3	16·8	14·5	<b>14·2</b>	15·5
Nahkiainen	.20·6	22·0	21·1	20·6	18·6	<b>16·3</b>	15·3	15·1	<b>14·6</b>
Ulkokalla . . . .	.18·2	18·4	17·1	18·5	17·4	16·2	18·0	15·2	<b>15·0</b>
Helsingkallan . . .	.19·2	19·5	18·6	17·5	15·7	16·5	15·8	<b>15·1</b>	15·4
Snipan . . . . .	.20·0	22·0	21·0	19·0	17·5	<b>15·0</b>	16·5	<b>16·0</b>	16·2
Storkallegrund . .	.21·0	21·5	20·4	18·3	18·2	<b>17·5</b>	17·8	<b>17·5</b>	17·6
Relandersgrund . .	.18·5	19·5	20·0	19·0	18·5	17·5	17·0	<b>16·5</b>	17·5
Storbotten . . . .	19·5	19·8	20·0	19·4	17·5	16·5	16·2	<b>15·5</b>	16·2

sekundäre Depression über Dänemark zurückgeblieben. Von Skandinavien nach dem Balkan hin zieht sich eine sehr breite Tiefdruckrinne. Der Bottnische Meerbusen ist vom Hochdruckgebiet im NE beherrscht. Am 4ten hat sich die Zyklone über Island vertieft und schiebt sich in die Tiefdruckrinne hinein. Ein südwärts gerichteter Ausläufer drängt das Hochdruckgebiet im SW nach S zurück. Das Hochdruckgebiet im NE beherrscht noch die Winde im Bottnischen Meerbusen. Am 5ten hat sich das Tiefdruckgebiet weiter vertieft und nach E verschoben. Die Winde im Bottnischen Meerbusen sind durch die Nordostantizyklone und die Nordwestzyklone gleichzeitig beherrscht. Am 6ten ist nun das Tiefdruckgebiet in die Tiefdruckrinne vollends eingebrochen. Die Hochdruckgebiete sind voneinander weit getrennt und die Isobaren verlaufen über der Ostsee meridional. Der Bottnische Meerbusen ist von der Vorderseite der Zyklone beherrscht, es wehen den Isobaren entlang südliche starke Winde. Die Zyklone verlagert sich zum 7ten über Mittelskandinavien. Von beiden Seiten wird sie durch Hochdruckgebiete zusammengedrängt und durch ein kleines Hoch in den Karpathen am Ausbreiten nach S verhindert. Das Hochdruckgebiet von SW liegt jetzt über England und umkreist die

Zyklone. Zum 8ten entwickelt sich eine selten hübsch ausgebildete und sehr ausgedehnte V-Depression, deren mittlerer Teil den Bottnischen Meerbusen beherrscht. Am 9ten ist nun, wie zu erwarten war, die V-Depression verschwunden und ihre Stelle nimmt ein ausgedehntes geschlossenes Hochdruckgebiet ein, dessen Zentrum über dem englischen Kanal lagert. Der Bottnische Meerbusen ist jetzt ganz unter antizyklonalem Einfluß. Am 10ten ist ganz Europa von einem ausgedehnten starken Hochdruckgebiet beherrscht, dessen

Tabelle 9.

Tiefenbeobachtungen: Temperatur und Salzgehalt in ‰<sup>1</sup>

Station	A u g u s t				
	1. $t_0-t_{20}$	11. $t_0-t_{20}$	1. $S_0-S_{20}$	11. $S_0-S_{20}$	20 m $\Delta S$
Plevna <sup>2</sup>	14·1	1·7	- 1·10	- 0·47	- 0·12
Marjaniemi	13·2	0·2			
Nahkiainen	17·5	3·0	- 0·74	0·00	- 0·18
Helsingkallan	14·3	9·8	- 0·04	- 0·36	+ 0·30
Snipan ...	17·5	2·0			
Norrskär			- 2·15	- 0·34	- 0·15
Sälgrund .....			- 0·29	- 0·01	- 0·29
Relandersgrund .....	13·6	1·5	- 0·19	0·00	+ 0·08

<sup>1</sup> Vgl. die Zeichenerklärung von Tabelle 5.

<sup>2</sup> 10 m Tiefe.

Zentrum jetzt über den dänischen Meeresengen liegt. Die Beobachtungswerte über diesen Fall sind in den Tabellen 8 und 9 gegeben.

Temperatur, Winde und Meeresströmungen: Der vorliegende Temperaturfall ist, nicht sehr groß und einfach im Aufbau von Interesse aber darum, weil hier ein Temperaturfall bei Südwind entsteht. Dieser Fall soll später als Bestätigung der Folgerungen, die aus den vorher beschriebenen Temperaturfällen gemacht werden, dienen.

Am 2ten ist im ganzen Bottnischen Meerbusen das bekannte antizyklonale Bild zu sehen: die Winde und Strömungen sind schwach und unregelmäßig; die Luft- sowie die Wassertemperaturen steigen. Am 3ten dauert dasselbe Bild an. Die Luft- und Wassertemperaturen erreichen in den allermeisten Stationen das Maximum. Am 4ten springen die Winde im ganzen Bottnischen Meerbusen auf südliche Striche über, sind aber schwach (antizyklonale Winde). Die Temperaturen erleiden, wie aus Tabelle 8 zu ersehen ist, keine nennenswerten Änderungen. Die schwache Strömung geht der finnischen Küste entlag nach N, der schwedischen entlang nach S. Am 5ten sind die Winde durch den Vorderteil der Zyklone beeinflusst, also Südsüdost- bis Westsüdwestwinde, und im östlichen Teil des Bottnischen Meerbusens verstärkt. Die Temperatur beginnt in den südlichen Stationen der beiden Teile des Bottnischen Meerbusens zu fallen. Die Strömungen drehen sich nach N. Am 6ten

ist der Bottnische Meerbusen ganz unter dem Einfluß der Zyklone, es wehen durchwegs starke Südwinde und die lebhafteren Strömungen sind nach N gerichtet. Die Wassertemperatur fällt im ganzen Bottnischen Meerbusen, ebenso die Lufttemperatur, obwohl in einem viel kleineren Ausmaß. Am 7ten dauern die Südwinde an, die Strömungen sind stärker geworden und immer noch nach N gerichtet. Im südlichen Teil der Bottensee wehen starke Südwestwinde, wodurch im Südwestteil der Bottensee eine Art horizontalen Wasserkreislaufes entsteht, so daß im Finngrundet die Strömung nach SE gerichtet wird. Die Lufttemperatur erreicht ein schwaches Minimum, in den meisten Stationen auch die Wassertemperatur. In den südlichen Teilen wird das Minimum früher erreicht, ebenso in der Bottensee früher als im Bottenwieck. Am 8ten sind die Strömungen schwächer, im mittleren Teil des Bottnischen Meerbusens sind die Winde abgeflaut. Jetzt erreicht die Wassertemperatur beinahe überall das Minimum. Am 9ten sind die Winde nach N umgesprungen und die Strömungen unregelmäßig geworden; es überwiegt eine schwache Strömung nach S. Die Lufttemperatur ist gestiegen, auch die Wassertemperatur beginnt an vielen Stationen langsam zu steigen. Am 10ten ist der Wind nach W bis SW umgesprungen und durch die große mitteleuropäische Antizyklone beherrscht; die Strömungen sind schwach: an der finnischen Küste geht eine schwache Strömung in den Bottnischen Meerbusen hinein, an der schwedischen heraus.

In dieser Zeit ist die Wassertemperatur im ganzen Bottnischen Meerbusen bis um  $7 \cdot 6^{\circ}$  C. gefallen. Die Winde waren bei den meisten Stationen keine Landwinde. Die nicht sehr starken nach N gerichteten Strömungen wurden durch anhaltende südliche Winde bedingt, welche ihrerseits durch den Vorderteil der einige Tage beinahe stationären Zyklone verursacht wurden. Das Fallen der Wassertemperatur begann in den südlichen Gegenden der beiden Teile des Bottnischen Meerbusens und wurde dann allgemein. Nach dem Temperaturfall steigt die Wassertemperatur langsam und wenig, bleibt bis zum allgemeinen Temperaturfall mehrere Grade unter dem Wert, den sie vor dem Fall erreicht hatte.

Das vertikale Temperaturgefälle im Wasser war vor dem Fall überall groß, nach dem Fall klein. Aus den Salzgehaltsbeobachtungen sehen wir folgendes: in den südlichen Stationen des Bottenwiecks und der Bottensee ist der Salzgehalt an der Oberfläche und in der Tiefe gestiegen. Besonders kraß ist dieses in dem Salzgehalt des Tiefenwassers von Helsingkallan am 11ten zu sehen, was offenbar das finnische Institut für Meereskunde bewogen hat, diesen Werten ein Fragezeichen beizufügen. Der angezweifelte Wert muß nicht unbedingt falsch sein: wie wir später sehen werden, ist dieser Wert durchaus erklärbar. In den nördlichen Stationen hat der Salzgehalt an der Oberfläche etwas zugenommen, in der Tiefe aber entschieden abgenommen: meist treffen wir eine mächtige homohaline Wasserschicht vor.

#### IV. Gemeinsame Besprechung weiterer Temperaturfälle.

Die in-extenso-Besprechung aller von mir untersuchten Fälle im Bottnischen Meerbusen würde zu weit führen und ist auch aus Platzmangel unmöglich; daher habe ich mich auf die Besprechung von drei typischen Fällen beschränkt und will nur noch aus einigen weiteren Fällen die gemeinsamen charakteristischen Merkmale hervorheben. Ich habe dazu die Temperaturfälle vom 29. Juni bis 3. Juli 1912, vom 23. bis 27. Juli 1919, vom 3. bis 8. Juli 1920, vom 9. bis 16. Juli 1921, vom 27. bis 31. August 1920, vom 9. bis 15. August 1922, vom 2. bis 10. August 1925, vom 13. bis 20. August 1923 ausgewählt, wodurch weitere Beispiele sowohl aus dem ansteigenden Ast der Wassertemperatur wie auch aus dem absteigenden gegeben sind.

Es können aus den obgenannten Temperaturfällen folgende gemeinsame Merkmale hervorgehoben werden: alle diese Temperaturfälle verbreiteten sich über den ganzen Bottnischen Meerbusen und wiesen einen mittleren Fall von  $5^{\circ}$  C. auf. Wie bei den vorhin beschriebenen, sind auch bei diesen Temperaturfällen die meisten den Temperaturfall verursachenden Winde keine Landwinde für die betreffenden Stationen. In allen Fällen wurden die bei allen gemeinsamen nach S gerichteten starken Strömungen durch rückläufige oder langsam durchziehende Zyklonen, die über Finnland einige Tage beinahe stationär blieben, verursacht. Es sei nochmals bemerkt, daß alle diese Fälle bei starken Nordwinden vorkamen. Das Fallen der Wassertemperatur begann durchwegs in den nördlichen Stationen der Bottensee und des Bottenwiecks und wurde dann allgemein. Beinahe zur gleichen Zeit, als die Wassertemperatur das Minimum erreichte, erreichte auch die Lufttemperatur ein tiefes Minimum.

In den ersten Fällen (Juni und Juli) stieg die Wassertemperatur nach dem Fall rasch wieder und erreichte sehr bald höhere Beträge als vor dem Fall. In den letzten Fällen war die Sache aber anders: nach dem Temperaturfall stieg die Wassertemperatur nur langsam und wenig, blieb immer mehrere Grade unter dem Betrag der Temperatur vor dem Fall und ging von dieser Höhe in den allgemeinen Temperaturabfall über. In allen Fällen, soweit es die Tiefentemperaturbeobachtungen zu urteilen erlauben, war das vertikale Temperaturgefälle vor dem Fall groß, nach dem Fall aber sehr klein. Durchwegs war bei allen Stationen diejenige Temperatur, die beim Temperaturfall als Minimum auftritt, vor dem Fall nur in größerer Tiefe (zirka 10 bis 25 *m*) zu finden. Der Salzgehalt des Tiefenwassers war nach dem Fall in den nördlichen Stationen gestiegen, in den südlichen gefallen.

Unterschiede in diesen Fällen sind nur in der Größe des Temperaturfalles zu finden. Es wurde dabei festgestellt, daß bei stärkeren und länger anhaltenden Nordwinden größere Temperaturfälle zum Vorschein kamen, bei schwächeren oder weniger an-

haltenden Winden aber kleinere. Alle Fälle wiesen dieselben charakteristischen Merkmale auf, Widersprüche wurden nicht gefunden.

Nun wenden wir uns zur näheren Untersuchung der Temperaturanstiege. Vorerst sei festgestellt, was wir unter dem Namen »Temperaturanstieg« verstehen wollen. Es gibt, wie aus der Tatsache der Schwankungen im Temperaturgang ohneweiters abzuleiten ist, auch rasche Temperaturanstiege. Unter diesen sind aber folgende Arten zu unterscheiden: Anstiege, die infolge eines raschen Temperaturfalles als Wiederkehr in normale Verhältnisse entstehen, und rasche Anstiege, denen kein Temperaturfall unmittelbar vorangegangen ist. Die ersteren sind als eine natürliche und unabwendbare Folge eines Temperaturfalles anzusehen, die selbständig nicht aufgetreten wären. Diese Temperaturanstiege wollen wir auch nicht als Anstiege betrachten. Wir wollen nur einen solchen Temperaturanstieg als Anstieg im unseren Sinne (Temperatursprung) betrachten, der selbständig, ohne einen vorangegangenen Temperaturfall, auftritt.

Wie wir aus der Besprechung der Temperaturfälle gesehen haben, ist vor den Temperaturfällen in der Tiefe kälteres Wasser vorhanden, dessen Temperatur mit dem Minimum der Temperatur an der Oberfläche ungefähr übereinstimmt. Bei Temperaturanstiegen dagegen gibt es am selben Ort kein höher temperiertes Wasser, welches diesen Anstieg verursachen könnte. Ein Temperaturanstieg kann daher nur dadurch zu stande kommen, daß entweder höher temperiertes Wasser von anderen Orten zuströmt, oder daß das Wasser an Ort und Stelle durch irgendwelche Ursache erwärmt wird.

Der Anstieg der Wassertemperatur ist hauptsächlich durch die Insolation bedingt: diese geht nicht in raschen Sprüngen vor sich, also können dadurch auch keine Temperatursprünge in der Wassertemperatur entstehen; außerdem wird die Insolation örtlich durch verschiedene meteorologische Elemente stark geändert. Um einen relativ raschen Temperaturanstieg in einem größeren Meeresgebiet durch Insolation zu erhalten, ist die Vorbedingung notwendig, daß in diesem ganzen Gebiet gleiche und günstige atmosphärische und hydrographische Verhältnisse vorhanden sind. Wie uns aber die Wetterkunde zeigt, sind diese gerade im Gebiet der Ostsee äußerst selten zu finden, weshalb auch ein rascher Temperaturanstieg im ganzen Bottnischen Meerbusen wohl äußerst selten vorkommen kann. Wenn wir uns noch den Umstand, daß diese Anstiege hauptsächlich nur im Mai, Juni und Juli bei starker Insolation vor sich gehen können, vor Augen halten, erhält das obige Überlegungsergebnis eine noch größere Einschränkung. Auch die hydrographischen Verhältnisse können nur in den seltensten Fällen im Bottnischen Meerbusen ganz gleichartig sein: wenn die gleichen günstigen meteorologischen Verhältnisse einige Zeit anhalten, so kommt es im Wasser durch verschiedene Ursachen zu Bewegungen,

die also die gleichen Vorbedingungen sofort aufheben z. B.: Bei der Insolation günstigen Wetterlagen — Hochdruckgebiet und Bewölkungslosigkeit — stellen sich sofort Land- und Seewinde ein; außerdem ist das Meer nicht überall von ganz gleichmäßiger Tiefe, wodurch das Wasser an seichten Stellen stärker erwärmt und spezifisch leichter wird; schließlich bewirkt die intensive Verdunstung an der Meeresoberfläche an heiteren Tagen, daß die untersten Luftschichten einen erhöhten Wasserdampfgehalt aufweisen und dadurch bekanntlich die dunklen Strahlen mehr absorbieren, außerdem kann sich dieser Wasserdampf in Wolken oder Nebel verwandeln und so die Insolation teilweise herabsetzen, auch wirkt die Abdunstung selber auf die Meeresoberfläche temperaturerniedrigend.

Wenn wir jetzt die anfangs gemachten Einschränkungen teilweise aufheben und uns nicht auf einen ganz durchgreifenden sowie auch nicht auf einen Temperatursprung beschränken, so liegen die Verhältnisse schon günstiger. Anstiege in kleineren Gebieten können wesentlich öfter vorkommen, insbesondere dann, wenn wir den relativ raschesten Temperaturanstieg als einen Anstieg im Sinne der Temperatursprünge auffassen.

Wie nach diesen Überlegungen auch zu erwarten war, habe ich in dem ganzen vorhandenen Material keinen einzigen Temperaturanstieg gefunden, der im ganzen Bottnischen Meerbusen gleichzeitig aufgetreten wäre, und nur einen einzigen Temperaturanstieg, der beinahe im ganzen Bottnischen Meerbusen gleichzeitig auftritt. (Diese letzte Behauptung ist aber recht gewagt, da die vorhandenen Beobachtungen von diesem Anstieg bei weitem nicht zahlreich und ausreichend genug sind, um diese Behauptung ganz sicher erscheinen zu lassen). Ich habe auch mehrere solche Anstiege untersucht, die in mehreren Stationen zugleich oder mit zeitlichen Verschiebungen von 1 bis 3 Tagen vorkamen. Aber auch diese Anstiege kommen selten genug vor, so daß ich im ganzen nur fünf Anstiege untersuchen konnte. Drei von diesen Anstiegen werden in extenso besprochen, bei den übrigen zwei nur die charakteristischen Merkmale hervorgehoben.

Bei der Untersuchung der Temperaturanstiege machte sich der Mangel an Beobachtungen sehr unangenehm bemerkbar. Für die Untersuchung und Schlußfolgerungen wären sehr viele Beobachtungen notwendig, die an den finnischen Beobachtungsstationen überhaupt nicht gemacht werden, und auch die meteorologischen Landstationen sind zum Teil zu weit von den hydrographischen entfernt und für diese Untersuchung ungünstig gelegen, oder, was am öftesten vorkommt, fehlen diese überhaupt. An der ganzen Küste des Bottnischen Meerbusens sind nur vier meteorologische Stationen, deren Beobachtungen in extenso veröffentlicht werden (in den letzten Jahren nur zwei, auf beinahe 30 hydrographischen Stationen (!), und auch diese zwei sind sehr ungünstig gelegen). Die so wichtigen Beobachtungen der Lufttemperatur, Feuchtigkeit und der Bewölkung fehlen somit beinahe gänzlich. Zur Verfolgung

der Temperaturfälle genügten einmal tägliche Wassertemperaturbeobachtungen vollkommen, bei der Verfolgung der Temperaturanstiege wären aber mindestens drei Terminbeobachtungen täglich notwendig, außerdem aber noch die Temperaturextreme. Am stärksten vermißt werden aber hier die täglichen Beobachtungen des Tiefenwassers.

### I. Der Temperaturanstieg vom 15. bis 17. Juni 1913.

Die Tabellen zu diesem Temperaturanstieg sind bereits beim Temperaturfall II gegeben, da dieser Anstieg einem Temperaturfall unmittelbar vorangeht. Auch die allgemeine Wetterlage ist dort besprochen worden.

Temperatur, Winde und Meeresströmungen: Ab 15ten sind die Winde und Strömungen schwach und unregelmäßig. Im Bottenwiek sind die schwachen Strömungen fast durchwegs nach N gerichtet, in der Bottensee sind sie unregelmäßig. In Relandersgrund herrscht Stromstille, gegen Abend auch Windstille. Die Wassertemperatur steigt im Laufe des Tages stetig, aber nur in Zehntelgraden. In Helsingkallan steigt die Wassertemperatur bei schwacher Südwestströmung. Nach den Beobachtungen von Wasa zu urteilen, war es heiter. (Es sei bemerkt, daß das Feuerschiff Helsingkallan an der Nordspitze einer sehr ausgedehnten Untiefe verankert ist.) In Snipan schlägt die Strömung gegen Mittag nach WSW um und die Temperatur steigt um  $1\cdot0^{\circ}$  C. In Storkallegrund steigt die Wassertemperatur von Morgen gegen Mittag um  $1\cdot0^{\circ}$  C. bei einer Strömung nach S. (Im Norden von Storkallegrund sind ausgedehnte Untiefen.) In Storbotten steigt die Wassertemperatur bei Westnordwestströmung um  $3\cdot0^{\circ}$  C., es muß aber bemerkt werden, daß die Beobachtungen von Storbotten in vollen Graden angegeben sind, der Anstieg darum in Wirklichkeit kleiner gewesen sein kann. (In ESE von Storbotten sind Land und Untiefen.) Am 16ten sind an einigen Stationen schwache und unregelmäßige Strömungen, in den meisten aber Wind- oder Stromstille, in vielen ist beides zugleich vorhanden. In Plevna herrscht Wind- und Stromstille, die Wassertemperatur steigt im Laufe des Tages um  $2^{\circ}$  C.; in Nahkiainen ebenfalls um  $2\cdot7^{\circ}$  C. In Helsingkallan steigt bei Stromstille die Wassertemperatur bis Mittag um  $2\cdot8$  C., fällt aber ebenso bei Stromstille bis Abend um  $1\cdot4^{\circ}$  C.; desgleichen in Snipan bei mäßiger sich drehender Strömung. In Storkallegrund steigt die Wassertemperatur bei Wind- und Stromstille um  $1\cdot8$  C.; in Storbotten bei Stromstille um  $1\cdot0^{\circ}$  C. Bei den übrigen Feuerschiffen bewegt sich die Wassertemperatur nur in Zehntelgraden. An den Küstenstationen ist die Wassertemperatur nur in Säbbskär um  $4\cdot2^{\circ}$  C. gestiegen. Am 17ten erreichen die Luft- und Wassertemperaturen das Maximum: die Maxima der Lufttemperatur sind durchwegs um  $10^{\circ}$  C. höher als die Wassertemperatur. In Nahkiainen steigt die Wassertemperatur bei schwacher Strömung nach NW — im SE von Nahkiainen ist die Küste — um  $1\cdot5^{\circ}$  C.; in Helsingkallan bei Wind- und Strom-

stille um  $6.8^{\circ}$  C; in Relandersgrund ebenfalls bei Wind- und Stromstille um  $1.8$  C.; in Storbotten bei mäßiger Strömung aus W um  $2.0^{\circ}$  C. (letzter Wert unsicher). An den Küstenstationen steigt in Ulkokalla, anscheinend bei Windstille, die Wassertemperatur seit Vortag um  $2.2^{\circ}$  C., in Märket um  $3.4^{\circ}$  bei schwachem Südwind. Gegen Abend des 17ten dreht sich der Wind nach N um und verstärkt sich am nächsten Tag zum Sturm. Die Luft- und die Wassertemperaturen fallen rasch und es findet ein starker Temperaturfall statt, der als Temperaturfall II schon früher beschrieben worden ist.

Aus dieser Erscheinung sehen wir, daß in einem größeren Gebiet mit verschiedenen Abweichungen wohl ein beinahe gleichzeitiger Anstieg vor sich gehen kann, aber doch kein Temperatursprung. (Siehe die Tab. 6.) Wenn wir die Reihen der dreimal täglichen Wassertemperaturen an einzelnen Stationen anschauen, so können wir nur von einem stetigen Anstieg und nicht von einem raschen Anstieg, jedenfalls aber gar nicht von einem Temperatursprung reden. Der letzte kommt nur in Helsingkallan am 17ten und in Storbotten am 15ten vor. Es wurde schon früher bemerkt, daß die Temperatur an den einzelnen Stationen bei Strom-, beziehungsweise Windstille stieg, besonders bei Strom- und Windstille. Es kamen aber auch Fälle vor, wo die Wassertemperatur bei schwachem Strom stieg, in diesem Fall kam der Strom meist von einer Untiefe oder der Küste her. Wir müssen aber auch die Aufmerksamkeit darauf lenken, daß in Relandersgrund längere Zeit hindurch Wind- und Stromstille herrschte, während die Wassertemperatur nur sehr wenig stieg: dieses dürfte auf die Verhinderung der Insolation durch Bewölkung zurückzuführen sein, doch fehlen dazu die Beobachtungen; in den synoptischen Wetterkarten sieht man, daß um diese Zeit in Hangö, Helsingfors und Reval die Bewölkung 10 war, — daraus einen Schluß zu ziehen, daß die Bewölkung in Relandersgrund auch hoch war, ist zwar gewagt, wahrscheinlich ist es aber immerhin. Aus den Tiefenbeobachtungen können wir leider nichts sagen, da nach diesem Anstieg ein starker Temperaturfall stattfindet und so die Tiefenverhältnisse bis zur nächsten Beobachtung gründlich verändert werden.

## II. Der Temperaturanstieg vom 24. bis 29. Juni 1912.

Allgemeine Wetterlage: Am 24ten lagert im NW eine ausgedehnte Zyklone, eine zweite ebensolche im SE. Von SW schiebt sich ein Hochdruckgebiet keilförmig gegen NE vor. Von SSW nach NNE zieht sich durch ganz Europa ein breiter Hochdruckrücken. Das Westufer des Bottnischen Meerbusens ist von der Zyklone beherrscht, während am Ostufer Windstille, im Finnischen und Rigaischen Meerbusen starke Bewölkung, beziehungsweise Nebel herrschen. Am 25ten hat sich das Tiefdruckgebiet im NW stark vertieft und über Irland verlagert. Der Hochdruckrücken ist unverändert geblieben, ist im S aber etwas schmaler.

Über der Ladoga und dem Weißen Meere hat sich ein kleines, geschlossenes Hochdruckgebiet gebildet, welches jetzt die Winde im Bottnischen Meerbusen schwach beherrscht. Im nördlichen Teil des Bottnischen Meerbusens herrscht Windstille und starke Bewölkung. Am 26ten hat das Hochdruckgebiet im SW die Nordwestzyklone stark ausgefüllt, welche sich jetzt auch verflacht und etwas

Tabelle 10.

## Wassertemperaturen:

Station:	J u n i					
	24.	26.	27.	28.	29.	
Plevna ..	14·0	11·0	11·0	14·3	15·0	16·7
Ulkokalla . . . .	10·2	10·2	11·0	13·2	14·4	14·4
Storkallegrund.	12·0	11·0	12·0	19·0	13·0	12·0
Säbbskär . . . .	17·2	18·4	17·6	19·6	18·3	19·2
Relandersgrund	12·4	15·8	13·0	14·4	15·0	15·4
Storbotten	11·1	11·8	11·8	14·3	15·3	16·8
Märket ..	8·1	10·6	10·6	13·5	13·0	14·2

## Lufttemperaturen:

Uleaborg	23·4	18·0	20·4	21·0	22·3	21·5
Wasa . . .	18·8	20·6	16·0	19·4	21·8	20·1
Mariehamn	18·8	16·4	17·2	22·0	17·6	19·8
Helsingfors	17·5	19·8	22·7	23·4	20·3	22·3

zurückzieht. Das Hochdruckgebiet im N ist ausgedehnter geworden und beherrscht jetzt den Bottnischen Meerbusen ganz: schwache Winde, heiter. Am 27ten lagert das nördliche Hochdruckgebiet über Skandinavien und dem Bottnischen Meerbusen. Das zweite Hochdruckgebiet im SW hat sich bis Dänemark vorgeschoben und die

Tabelle 11.

## Tiefentemperaturen in

	Relandersgrund		Utö	
	21 ten	1 ten	21 ten	1 ten
0	9·8	15·2	10·5	13·5
10	7·8	8·8	8·5	11·8
20	6·8	5·8	7·3	7·8

Nordwestzyklone weiter zurückgedrängt. Am 28ten nimmt die Zyklone im NW an Intensität zu und hat das Hochdruckgebiet im N nach NNE zurückgedrängt. Vom Hochdruckgebiet im SW hat sich ein großer Teil abgetrennt und liegt über Mitteleuropa, während das Hochdruckgebiet selber sich stark nach SW zurückgezogen hat. Am 29ten hat sich die Zyklone auch bis Dänemark vorgedrängt und zusammen mit dem ausgedehnten Fallgebiet im ganzen Osten das mitteleuropäische Hochdruckgebiet eingeschlossen. Der Bottnische

Meerbusen ist schon teilweise unter dem Einfluß des Tiefdruckgebietes. Die Beobachtungswerte zu diesem Temperaturanstieg sind in den Tabellen 10 und 11 gegeben.

Temperatur, Winde und Meeresströmungen: Am 24ten herrschen im Bottnischen Meerbusen schwache wechselnde Winde, an einigen Stellen Stromstille, die Bewölkung wechselnd, die Temperaturen relativ hoch. Am 25ten ist das Bild noch gleich, nur ist jetzt die Bewölkung am Ostufer stärker. Wie aus der Tabelle 10 zu ersehen ist, ist die Wassertemperatur an einigen Stationen gestiegen, an einigen gefallen. Am 26ten sind die Strömungen in der Bottensee lebhafter geworden, ebenso auch die Winde, im Bottenwiek herrscht noch vielfach Wind- und Stromstille, die Temperaturen verhalten sich wie am Vortag. Am 27ten herrscht nun beinahe überall Windstille. Die Wassertemperatur steigt bei den meisten Stationen, allerdings fällt sie auch bei einigen oder bleibt unverändert. Am 28ten werden die Winde wieder lebhafter, im südlichen Teil des Bottnischen Meerbusens tritt starke Bewölkung auf. Bei einigen Stationen steigt die Wassertemperatur noch weiter, bei einigen fällt sie: in Storkallegrund sogar um  $6^{\circ}$  C. (Vorbehalten ist hier die Richtigkeit der Temperaturbeobachtung vom 27ten, die  $19\cdot 0^{\circ}$  C. lautet, am 26ten ist sie  $12\cdot 0^{\circ}$  C. und am 28ten  $13\cdot 0^{\circ}$  C. Es kann sich hier auch immerhin um einen Beobachtungsfehler von  $5\cdot 0^{\circ}$  C. handeln.) Am 29ten sind die Winde um vieles stärker geworden und wehen im Bottenwiek aus nördlichen, in der Bottensee aus südwestlichen Strichen. An einigen Stationen steigt, an einigen fällt die Wassertemperatur, aber nicht stark. Am 27ten erreichte die Lufttemperatur das Maximum, das mindestens um  $5\cdot 0^{\circ}$ , an einigen Stationen um  $10\cdot 0^{\circ}$  C. höher ist als die Wassertemperatur.

Hier sehen wir wieder, daß der Temperaturanstieg nur an einzelnen Stationen Sprünge macht, nicht aber im ganzen Bottnischen Meerbusen zugleich — vielmehr kommt gleichzeitig mit dem Anstieg der Temperatur an einem Teil der Stationen ein Temperaturfall bei den anderen vor. Der Anstieg ist nicht groß, im Mittel  $2\cdot 0^{\circ}$  C., erreicht aber durch das stetige Ansteigen an mehreren Tagen größere Beträge. Die raschesten Anstiege, Sprünge, die an einigen Stationen meist an verschiedenen Tagen vorkamen, kamen etweder bei Strom- oder Windstille, oder bei Strom- und Windstille, oder bei einem schwachen Wind oder Strom, der von Untiefen oder der Küste stammte, vor. Bei diesem Anstieg können wir uns auch die Tiefenverhältnisse an den Stationen Utö und Relandersgrund anschauen. (Nur an diesen zwei Stationen kam zwischen den betreffenden Beobachtungsterminen, dem 21ten Juni und 1ten Juli, kein nennenswerter Temperaturfall nach dem Anstieg vor.) Wir sehen in der Tabelle 11, daß das Tiefenwasser bis 20 m Tiefe bedeutend erwärmt worden ist und daß sich eine starke Sprungschicht gebildet hat. Am 21ten war die Differenz zwischen der Temperatur an der Oberfläche und der in 20 m Tiefe in Utö  $3\cdot 2^{\circ}$  C., und in Relandersgrund  $2\cdot 0^{\circ}$ , während sie am 1ten  $5\cdot 7^{\circ}$ , beziehungsweise  $9\cdot 4^{\circ}$  C. ist.

### III. Der Temperaturanstieg vom 10. bis 15. Juli 1913.

Allgemeine Wetterlage: Am 10ten zieht sich über Nord-europa von NW nach SE eine Tiefdruckrinne: eine Zyklone liegt über Island, eine zweite über dem Kattegat und Südschweden, eine dritte über Polen und dem Schwarzen Meere. In SW ist ein Hochdruckgebiet angedeutet, über den Alpen ein zweites, aber sehr kleines Hoch und ein ausgedehntes Hochdruckgebiet über Nordskandinavien und Nordrußland. Der Bottenwieck ist unter anti-zyklonalem Einfluß, die Bottensee und die übrige Ostsee unter dem Einfluß der Teildepression vom Kattegat. Am 11ten dringt das Hochdruckgebiet aus SW stark vor und hat die isländische Zyklone nach N verdrängt. Die Kattegatzyklone hat sich anscheinend mit der von Polen vereinigt und sich mit dem Zentrum über Kiew vertieft. Das Hoch im N ist etwas eingeengt. Die Verhältnisse im Bottnischen Meerbusen liegen ebenso wie am 10ten. Am 12ten hat sich die Zyklone von Rußland zu einem mächtigen ausgedehnten Tiefdruckgebiet entwickelt, welches ganz Ost- und Westeuropa umfaßt. Das Hochdruckgebiet im SW ist weit zurückgedrängt und hat ein sekundäres Hoch in Westfrankreich hinterlassen. Die Zyklone über Island ist etwas gegen S vorgerückt, das Hochdruckgebiet im N verflacht, ohne daß in den atmosphärischen Verhältnissen des Bottnischen Meerbusens eine Änderung eingetreten wäre. Am 13ten hat sich die russische Zyklone etwas nach E zurückgezogen und sich über S nach E gewendet. Das Hochdruckgebiet im N hat sich über Nordskandinavien verlagert, ein zweites liegt über Mitteleuropa. Das isländische Tief ist bis Irland vorgedrungen. Der Gradient im N ist klein, daher im Bottnischen Meerbusen meist Windstille und heiter. Am 14ten hat sich die russische Zyklone weiter in der Richtung nach E gewendet, die 760 *mm*-Isobare ist jetzt über die Ostsee vorgeschoben. Im S herrscht Hochdruck, das isländische Tiefdruckgebiet lagert über England. Der Gradient ist schwach und so in den Verhältnissen des Bottnischen Meerbusens immer noch keine Änderung. Am 15ten hat sich das ausgedehnte Hochdruckgebiet aus WSW weit vorgeschoben, ein zweites aus S: Die russische Zyklone hat sich über Moskau vertieft, auch ist der Gradient etwas stärker geworden und demgemäß auch die Winde im Bottnischen Meerbusen lebhafter. Die Beobachtungswerte zu diesem Temperaturanstieg sind in den Tabellen 12 und 13 gegeben.

Temperatur, Winde und Meeresströmungen: Am 10ten herrscht im Bottnischen Meerbusen ein sehr wechselndes Strömungsbild vor. Im Bottenwieck herrschen östliche Winde, denen auch die schwache Strömung folgt; in der südlichen Bottensee — schwache südliche Winde und wechselnde Strömungen. Am 11ten sind die Winde und Strömungen ganz unregelmäßig, nur im nördlichen Teil des Bottenwiecks herrschen Südostwinde. In einigen Stationen ist die Wassertemperatur besonders bei Wind- und Stromstille etwas gestiegen. Am 12ten sind die Winde und Strömungen immer noch

unregelmäßig, auch im Bottenwiek herrscht jetzt keine bestimmte Richtung mehr vor. In der Bottensee überwiegt eine schwache Strömung nach S. Die Wassertemperatur ist jetzt in einigen Stationen sehr stark gestiegen. Am 13ten sind alle Winde und Strömungen lebhafter geworden, im Bottenwiek überwiegt die Stromrichtung nach S, in der Bottensee sind diese aber unregelmäßig. In Hangö

Tabelle 12.  
Wassertemperatur:

Station:	J u l i					
	10.	11.	12.	13.	14.	15ten
Plevna ..	11·5	12·0	14·0	15·0	17·4	15·0
Nahkaiainen	12·0	14·0	17·5	17·5	17·0	16·5
Ulkokalla	13·0	13·5	18·2	18·4	17·8	18·1
Helsingkallan	10·9	11·8	12·0	13·6	12·6	13·8
Snipan ..	9·9	10·4	13·4	13·4	11·9	12·4
Storkallegrund	12·0	13·2	13·8	14·6	14·6	15·0
Säbbskär ...	9·8	11·4	12·5	17·4	15·1	15·4
Relandersgrund ..	11·4	14·6	15·4	15·2	15·4	15·4
Storbotten	8·4	9·2	10·2	11·6	12·0	11·8
Utö...	16·0	17·4	17·8	19·0	19·2	19·8

Lufttemperaturen:

Uleaborg	25·8	28·6	28·4	28·4	29·6	29·6
Wasa ....	27·4	28·0	27·8	25·4	23·8	22·0
Mariehamn..	16·4	22·2	25·4	25·4	19·0	23·2
Hangö	24·8	24·9	24·2	28·6	24·1	19·0

Tabelle 13.

Tiefenbeobachtungen: Temperatur und Salzgehalt.<sup>1</sup>

Station:	$\Delta t$ in Om	J u l i		
		11 ten $t_0-t_{20}$	21 ten <sup>2</sup> $t_0-t_{20}$	So am 11 ten 21 ten
Plevna <sup>2</sup> ..	+9·0	4·6	12·0	2·70—2·65
Nahkaiainen	+4·0	5·1	8·0	
Ulkokalla...	+2·4	4·5	6·9	3·28—3·22
Helsingkallan....	+6·9	1·2	10·9	
Snipan... ..	+8·0	5·9	15·1	5·41—5·34 in Säbbskär
Storkallegrund...	+4·2	8·6	15·0	6·40—6·24 Bogskär
Relandersgrund..	+4·4	3·9	11·2	

<sup>1</sup> Vgl. die Zeichenerklärung bei Tab. 5.

<sup>2</sup> In 10 m Tiefe.

ist schon starke Bewölkung und in Helsingfors Regen. Die Wassertemperatur steigt noch etwas, beginnt aber in Relandersgrund schon zu fallen. Am 14ten herrschen lebhaftere nördliche Winde, im Bottenwiek herrscht ein Strom nach SW vor, während in der südlichen Bottensee meist Stromstille herrscht. In Plevna ist die Wassertemperatur bei einer Strömung von der Küste her um 2·4° gestiegen, in allen übrigen Stationen ist aber die Temperatur gefallen. Nur in den südlichsten Stationen der Bottensee steigt bei Stromstille die Temperatur um einige Zehntelgrade. Am 15ten herrschen

im Bottnischen Meerbusen schon stärkere, aber unregelmäßige Strömungen. Die Wassertemperatur fällt in einigen Stationen, in anderen steigt sie. Die Temperaturänderungen der übrigen Stationen betragen nur Zehntelgrade. Die Lufttemperatur war während dieser Zeit sehr hoch und um 8 bis 15° C. höher, als die Wassertemperatur.

Hier sehen wir wieder, daß der Anstieg nicht gleichzeitig bei allen Stationen Sprünge macht und daß diese nicht sehr groß sind. Der Anstieg fand an verschiedenen Stationen zu verschiedenen Zeiten statt, im allgemeinen ist aber die Wassertemperatur im Laufe von vier Tagen an den einzelnen Stationen um 2·6 bis 5·5° C. gestiegen und nur in Säbbskär um 7·6° C., in den nördlichen Stationen mehr als in den südlichen, die teilweise unter zyklonalem Einfluß standen. Auch hier fand der Anstieg bei verschiedenen Verhältnissen statt, bald bei Wind- oder Stromstille, bald bei Wind- und Stromstille, bald bei schwachem Wind oder schwacher Strömung, die von der Küste oder einer Untiefe her kamen. In diesem Fall können wir die Tiefenverhältnisse schon besser verfolgen, da zwischen den beiden Beobachtungsterminen an den meisten Stationen kein nennenswerter Temperaturfall stattfand. In der Tabelle 13 der Tiefentemperaturen und des Salzgehaltes sehen wir, daß überall sich eine starke Sprungschicht gebildet hat. Die erwärmte Oberflächenschicht ist mächtiger geworden und die Erwärmung ist ziemlich tief eingedrungen. In Ulkokalla bis 30 *m*, in Nahkiainan, Helsingkallan und Snipan ebenfalls. In Märket ist die Erwärmung bis 60 *m*, in Utö bis 70 *m*, in Bogskär bis 30 *m* in die Tiefe eingedrungen. Der Salzgehalt hat an der Oberfläche durch Erwärmung des Wassers abgenommen.

#### IV. Gemeinsame Besprechung weiterer Temperaturanstiege.

Wir wollen jetzt noch aus zwei weiteren Temperaturanstiegen, die im Bottnischen Meerbusen an vielen Stationen fast gleichzeitig (mit Verschiebungen von 1 bis 4 Tagen) vorkamen, gemeinsame charakteristische Merkmale hervorheben, und zwar sind das die Anstiege aus der Zeit vom 22. bis 29. Juli 1911 und 19. bis 27. Juni 1920.

Auch in diesen beiden Fällen fanden die Anstiege bei anti-zyklonaler Wetterlage statt. Die Anstiege sind nicht durchgreifend im ganzen Bottnischen Meerbusen, auch traten sie nicht gleichzeitig auf, vielmehr fand bei einem raschen Anstieg in der einen Station meistens ein Fallen der Temperatur bei der nächsten statt. Die Anstiege sind nicht groß, der mittlere bei allen Stationen, in denen ein Anstieg stattfand, war zirka 3·0° C. Auch hier fanden die Anstiege bei verschiedenen Verhältnissen statt und diese waren: Wind- oder Stromstille, Wind- und Stromstille, schwache Strömung aus meist seichten Gebieten. Aus den Tiefenbeobachtungen, soweit solche zur Verfügung stehen, zeigen sich die vorhin erwähnten Merkmale: es entsteht bei Erwärmung des Wassers eine starke

Sprungschicht, aber auch die Erwärmung selber schreitet recht schnell in die Tiefe weiter, was wohl hauptsächlich auf die Turbulenz<sup>1</sup> des Wassers zurückzuführen ist.

### Gemeinsame Merkmale aus den Erscheinungen.

Temperaturfälle: Bei allen vorhin beschriebenen Temperaturfällen im Bottnischen Meerbusen sind einige gemeinsame charakteristische Merkmale zu sehen, die wir hier näher festlegen wollen:

Vor allem ist in diesen Fällen festgestellt, daß die plötzlichen Fälle in der Wassertemperatur nicht immer nur an einzelnen Stationen, wie es bisher angenommen wurde, sondern auch in größeren Gebieten gleichzeitig vorkommen. Auch sei hier ausdrücklich festgestellt, daß bei den allermeisten Stationen der Wind, bei welchem der gemeinsame Fall vorkam, durchaus **kein** Landwind war. In den Beschreibungen der allgemeinen Wetterlage haben wir gesehen, daß die Fälle nur dann vorkamen, wenn eine rückläufige oder langsam durchziehende Zyklone sich über Finnland vertiefte und mehrere Tage stationär blieb, so daß starke Nord-(Süd-)Winde — die Werte in den Klammern beziehen sich auf den Temperaturfall III — im Bottnischen Meerbusen längere Zeit anhielten. Bei näherer Betrachtung der synoptischen Temperatur- und Strömungskarten im Bottnischen Meerbusen sieht man, daß in allen Fällen das Fallen der Wassertemperatur in den nördlichsten (südlichsten) Teilen des Bottenwiecks und der Bottensee begann und erst dann sich gleichzeitig im ganzen Bottnischen Meerbusen einstellte.

Aus dem Gang der Wassertemperatur bei Temperaturfällen im Juni bis Juli und August ist zu sehen, daß die Temperatur nach dem Fall im Juni und Juli rasch wieder steigt, und zwar höher, als sie vor dem Fall war. Bei Temperaturfällen im August steigt die Temperatur nachher sehr langsam und bleibt bis zum allgemeinen Abfall der Temperatur sehr erheblich unter der Temperaturhöhe, die vor dem Fall herrschte. Dann sei noch festgestellt, daß die Differenz zwischen der Temperatur an der Oberfläche und der in 20 m Tiefe vor dem Fall immer sehr groß ist, nach dem Fall aber ganz minimal. Meist hat sich eine mächtige homotherme Wasserschicht gebildet. Die Temperatur, die als Minimum bei den Temperaturfällen an der Oberfläche auftritt, war vor dem Fall in größerer Tiefe zu finden. Die Orte, wo beim Temperaturfall die niedrigsten Temperaturen und der größte Temperaturfall auftritt, stimmen mit den Orten der größten Häufigkeit von größeren Temperaturänderungen in den Skizzen 2 und 3 überein. Aus den Salzgehaltsbeobachtungen sehen wir, daß nach dem Temperaturfall der Salzgehalt in den nördlichen (südlichen) Gegenden der Bottensee und des Bottenwiecks an der Oberfläche und in der Tiefe zugenommen hat, in den süd-

<sup>1</sup> Siehe W. Schmidt, Annalen der Hydrographie usw., 1917 und 1920.

lichen (nördlichen) entsprechenden Gegenden aber in der Tiefe abgenommen hat, obwohl der Salzgehalt an der Oberfläche in den meisten Fällen etwas steigt. Meist herrscht in den südlichen (nördlichen) Gegenden nach dem Fall bis zu einiger Tiefe homohalines Wasser. Die Lufttemperatur erreichte zugleich mit der Wassertemperatur ein tiefes (schwaches) Minimum.

**Temperaturanstiege:** Aus der Beschreibung der Temperaturanstiege sind folgende gemeinsame Merkmale hervorzuheben:

Vor allem sei festgestellt, daß aus dem gesamten Beobachtungsmaterial kein einziger rascher Temperaturanstieg gefunden wurde, der gleichzeitig als Sprung im ganzen Gebiet des Bottnischen Meerbusens vorgekommen wäre. In den meisten Fällen ist der rasche Temperaturanstieg nicht sprungartig, sondern ein stetiger Anstieg, der nur in längeren Zeiträumen größere Beträge erreicht. Es kommen aber sprungartige Temperaturanstiege gleichzeitig an mehreren Stationen vor, sie erreichen aber nicht so große Beträge wie die Temperaturfälle. Die sprungartigen Temperaturanstiege an mehreren Stationen, die mehr oder weniger gleichzeitig auftreten, finden aber nicht bei gemeinsamen meteorologischen und hydrographischen Verhältnissen statt, vielmehr haben sie verschiedene Merkmale aufzuweisen, von welchen folgende festgestellt worden sind: Wind- oder Stromstille, Wind- und Stromstille, schwacher Wind oder (und) Strom aus Gegenden, wo sich ausgedehnte Untiefen oder die seichte Küste befinden.

Soweit die Tiefenbeobachtungen zu urteilen gestatten, entsteht nach einem raschen Temperaturanstieg eine scharfe Sprungschicht in der Temperaturschichtung des Wassers, auch dringt die Erwärmung des Wassers in tiefere Schichten vor. Die Lufttemperatur war bei diesen Temperaturanstiegen ganz bedeutend höher, als die Wassertemperatur. Auch nahm der Salzgehalt bei Erwärmung des Wassers an der Oberfläche ab.

### **Physikalische Erklärung der Vorgänge.**

Nach der statistischen Behandlung ergaben sich für die starken, in großen Gebieten gleichzeitig auftretenden Temperaturänderungen in der Oberflächentemperatur zwei Erklärungsmöglichkeiten:

Betrachten wir zuerst die Temperaturfälle, so könnten dieselben entweder dadurch erklärt werden, daß die warme Oberflächenschicht verschwindet, sei es, daß sie durch die Winde in andere Gebiete abgeweht wird, sei es, daß sie in die Tiefe hinabgedrängt wird und dadurch das kalte Tiefenwasser an die Oberfläche gesaugt wird.

Bei der zweiten Erklärung müssen wir uns vorstellen, daß bei größeren Temperaturunterschieden zwischen Luft und Wasser eine merkliche Beeinflussung der Oberflächentemperatur des Wassers durch die Luft vorhanden ist. Es ist allerdings die spezifische Wärme der Luft 3118mal kleiner als die des Wassers, so daß

rund 3000  $m^3$  Luft sich um  $1.0^\circ$  C. erwärmen müssen, damit 1  $m^3$  Wasser sich um  $1.0^\circ$  C. abkühlt. Trotz dieses starken Mißverhältnisses ist eine merkliche Beeinflussung durchaus nicht ausgeschlossen, da dasselbe durch eine starke Luftbewegung zum Teil wieder wettgemacht werden kann. Bei ruhender Luft brauche ich allerdings eine 3000 fach höhere Luftsäule, um die Temperatur einer gegebenen Wassersäule um den gleichen Betrag zu ändern. Wenn sich aber die Luft bewegt, ist das verfügbare Luftquantum gegeben durch den Windweg; derselbe beträgt bei einem Wind von 10  $m$ /sek. bereits 864  $km$  pro Tag. Wenn der untersuchte Meeresteil relativ klein ist gegenüber dem Windweg, der bei einer bestimmten Wetterlage aus derselben Richtung zurückgelegt wird, so ist das nötige Luftquantum reichlich gegeben, um eine merkliche Beeinflussung der Oberflächen-temperatur des Wassers zu erzielen, vorausgesetzt, daß diese Beeinflussung nur auf eine seichte Schicht des Wassers beschränkt bleibt.

Aus der synoptischen Besprechung hat sich ergeben, daß die erstgenannte Ursache vollständig ausreicht, um alle aufgezeigten Einzelheiten zu erklären. Die größten Temperaturfälle kommen durchwegs in denjenigen Gebieten vor, wo sich ein aufsteigender Tiefenstrom befindet und aufstaut, oder wo der Tiefenstrom eine Schwelle zu passieren gezwungen ist. Auch ist die Temperatur, die sich als Minimum bei Temperaturfällen einstellt, vorher immer nur in größerer Tiefe zu finden. Bei dem Temperaturfall herrscht immer ein starker und anhaltender Nordwind im ganzen Bottnischen Meerbusen, zugleich folgt die starke Strömung allgemein dem Winde. Das Fallen der Wassertemperatur beginnt bei Nordwind in den nördlichen Gegenden der Bottensee und des Bottenwiecks. Vor dem Temperaturfall herrscht immer eine durch Sprungschichten gekennzeichnete Temperaturschichtung im Wasser, welche aber nach dem Fall beinahe vollständig fehlt. Der Salzgehalt des Tiefenwassers nimmt nach dem Fall in den nördlichen Gegenden zu, in den südlichen ab. In dem einzigen besprochenen Temperaturfall, der bei Südwinde eintrat, begann derselbe zuerst in den südlichen Gebieten, und der Salzgehalt in der Tiefe stieg in den südlichen und fiel in den nördlichen Gebieten.

Nach diesen Tatsachen können wir uns den Vorgang des Temperaturfalles folgendermaßen vorstellen:

Wenn eine Zyklone über dem Finnischen Meerbusen oder Finnland für mehrere Tage stationär bleibt, so daß der Bottnische Meerbusen von dem westlichen Teil der Zyklone beherrscht ist, wehen mehrere Tage im ganzen Gebiet des Bottnischen Meerbusen anhaltende starke Winde aus N. Durch diese Winde verursacht wird im ganzen Bottnischen Meerbusen eine starke nach S gerichtete Strömung zustande kommen und somit das gesamte Oberflächenwasser nach S abströmen. Durch diesen Umstand wird in den Gegenden, wo das gesamte Oberflächenwasser abgetrieben ist, ein horizontaler Ersatz dieser Wassermassen unmöglich und es muß aus der Tiefe Wasser zum Ersatz emporsteigen. Da nun das

gesamte Oberflächenwasser abgetrieben wird, muß dieser Auftrieb des Tiefenwassers in ganzer Breite des Bottnischen Meerbusens vor sich gehen. Der Bottnische Meerbusen besteht aber aus zwei durch Schwellen voneinander getrennten Teilen: der Bottensee und dem Bottenwieck. Das weitere Abströmen des Wassers wird im Bottenwieck wie in der Bottensee durch die Schwellen zum größten Teil verhindert, so daß das abgetriebene Wasser am südlichen Ufer oder der Schwelle der beiden Teile des Bottnischen Meerbusens in die Tiefe hinabgetrieben wird. Es entsteht so in der ganzen Länge und Breite des Bottenwiecks und der Bottensee eine vertikale Wasserzirkulation. Durch diese vertikale Wasserzirkulation gelangt das Tiefenwasser als Ersatz des abgetriebenen Oberflächenwassers an die Oberfläche und setzt hier die Wassertemperatur im ganzen Bottnischen Meerbusen wesentlich herab. Die Größe des dabei auftretenden Temperaturfalles ist natürlich von der Differenz der Temperatur an der Oberfläche und in der Tiefe, die vor dem Fall herrschte, abhängig, ebenso auch von der Dauer und der Stärke des Windes. Wenn der Wind nachläßt, gelangt auch die vertikale Wasserzirkulation zum Stillstand: es können wieder normale Verhältnisse eintreten, der eventuell entstandene Niveauunterschied zwischen den nördlichen und südlichen Gegenden wird durch horizontale Strömungen ausgeglichen und es können bei Erwärmung nach dem Temperaturfall wieder Temperaturschichtungen sich einstellen.

Nach dieser Erklärung müßte das Fallen der Wassertemperatur in den nördlichsten Gegenden des Bottenwiecks und der Bottensee beginnen, was nach den Beobachtungen auch tatsächlich der Fall ist. Schwerer zu erklären ist der Umstand, daß die Erscheinung des Temperaturfalles sich viel rascher nach S fortpflanzt, als nach der geringen Strömungsgeschwindigkeit zu erwarten wäre. Dies erklärt sich wohl daraus, daß, da der starke Nordwind im ganzen Gebiete des Bottnischen Meerbusens gleichzeitig weht, das Oberflächenwasser im ganzen Gebiet gleichzeitig in Bewegung ist: es entsteht dadurch nicht nur in den nördlichsten Gegenden Auftrieb kalten Tiefenwassers, sondern auch bei den zahlreichen Untiefen, die in diesem Fall wie das nördliche Ufer wirken. Durch diesen Umstand kann der Temperaturfall im ganzen Bottnischen Meerbusen ziemlich gleichzeitig auftreten.

Weiters wäre zu erwarten, daß infolge der vertikalen Wasserzirkulation in den nördlichen Gegenden, wo das unvermischte Tiefenwasser aufgesaugt wird, nach dem Fall auch die niedrigsten Oberflächentemperaturen auftreten. Weiter südlich dagegen wird sich das hinter den Untiefen aufsteigende Tiefenwasser mit dem herangewehten warmen Oberflächenwasser mischen, es können also hier nicht so tiefe Temperaturen auftreten. Nach den Beobachtungen ist dies der Fall. Die niedrigsten Temperaturen kommen während des Falles in den nördlichen Gegenden vor. Auch herrscht in den nördlichen Gegenden nach dem Fall ein geringes vertikales Tem-

peraturgefälle und sind die Temperaturen dort im Vergleich zu den südlichen viel niedriger. In den südlichen Gegenden müßte durch das Hinabtreiben des Wassers und die dadurch entstandene Durchmischung ein homothermes Wasser entstehen, deren Temperatur höher ist, als die der nördlichen Gegenden. Nach den Beobachtungen ist auch dies tatsächlich der Fall, wie es früher unter den gemeinsamen Merkmalen der Temperaturfälle hervorgehoben wurde. Als sicherster Beweis hiefür können die Beobachtungen des Salzgehaltes dienen: Wie wir wissen, herrscht in der Ostsee und deren Meerbusen eine katohaline Schichtung, das ist: der Salzgehalt nimmt mit der Tiefe zu. Es müßte dann nach obiger Erklärung in den nördlichen Gegenden an der Oberfläche und in der Tiefe der Salzgehalt steigen, da ja Tiefenwasser, das ist salzreiches Wasser, aufgesaugt wird und auch in der Tiefe nur das Tiefenwasser vorhanden ist. Dagegen müßte in den südlichen Gegenden der Salzgehalt in der Tiefe entschieden abnehmen, da ja das Oberflächenwasser dort in die Tiefe hinabgedrängt wird und auch das Wasser infolge der Durchmischung homohalin sein. An der Oberfläche kann aber der Salzgehalt auch bei Homohalinität zugenommen haben, da diesen Gegenden auch aufgetriebenes Wasser zugeführt wird. Nach den Beobachtungen ist auch dieses tatsächlich der Fall, womit unserer Erklärung der sicherste Beweis gegeben ist.

Nach den Beobachtungen kamen die tiefsten Temperaturen bei den Temperaturfällen in der Station Storkallegrund vor. Wenn wir die Tiefentemperatur- und Strömungskarten des Bottnischen Meerbusens nach R. Witting anschauen, so sehen wir, daß in Storkallegrund sich ein aufsteigender Tiefenstrom befindet, der sich wegen Bodenerhebung dort aufstaut. Dadurch sind die Isothermenflächen in Storkallegrund sehr nahe an die Oberfläche zusammengedrängt und es herrscht dort also ein sehr starkes vertikales Temperaturgefälle. Infolgedessen ist die deckende erwärmte Oberflächenschicht von nur geringer Mächtigkeit und es kann schon eine geringe oder kürzerdauernde Ursache die dünne Oberflächenschicht abdrängen und das Tiefenwasser bloßlegen. Bei starkem und anhaltendem Wind wird in Storkallegrund so, der Temperatur nach, das tiefste Wasser im Vergleich mit anderen Stationen an die Oberfläche aufgesaugt und so auch die tiefsten Temperaturen.

Als einziges Argument für die obgenannte zweite Erklärung, daß nämlich die Wassertemperatur durch die Lufttemperatur beeinflusst werde, könnte aus der synoptischen Darstellung angeführt werden, daß das Minimum ungefähr gleichzeitig im Wasser und der Luft eintritt. Gegen eine solche Beeinflussung spricht aber der Umstand, daß das absolute Minimum in der Wassertemperatur wiederholt niedriger ist, als in der Luft; diese Beeinflussung durch die Lufttemperatur kann daher nur eine sekundäre Erscheinung sein, als Hauptursache der besprochenen Temperaturfälle kann nur das Aufsaugen des Tiefenwassers angesehen werden. Nach dieser Erklärung sind die beiden Minima durch ganz verschiedene Ur-

sachen bedingt: das Minimum in der Wassertemperatur wird durch Auftrieb kalten Tiefwassers bei anhaltenden starken Nordwinden bedingt, während das Minimum in der Lufttemperatur durch Advektion kalter Luft bei Nordwind verursacht wird.

Im ganzen Material wurde kein einziger Temperaturfall bei anhaltenden West- oder Ostwinden festgestellt.<sup>1</sup> Wir kommen so zum Schluß, daß diese beschriebene Vertikalzirkulation des Wassers nur bei Längswinden vorkommt und meistens bei Nordwinden. Der Bottnische Meerbusen verläuft beinahe nord-südlich und jeder Teil desselben ist in dieser Richtung bedeutend länger, als in der Richtung E—W. Es müßte aber, um diesen Schluß sicher erscheinen zu lassen, eine gleiche Vertikalzirkulation auch bei entgegengesetztem Wind, das ist südlichem Wind, entstehen. Dieses ist aber tatsächlich der Fall, wie wir es in dem vorhin beschriebenen Temperaturfall III gesehen haben.

Es wäre ein *experimentum crucis* gewesen, wenn in diesem Fall die Lufttemperatur bei Südwind gestiegen und dennoch ein Fall der Wassertemperatur eingetreten wäre; trotzdem die Lufttemperatur ebenfalls etwas gefallen ist, können wir jedoch auch hier aus der Änderung des Salzgehaltes zeigen, daß eine vertikale Wasserzirkulation<sup>2</sup> zustande kam, und zwar mit entgegengesetzter Rotationsrichtung, gegenüber der bei Nordwinden: an den südlichen Stationen steigt der Salzgehalt, das Wasser wird also aus der Tiefe emporgesaugt, an den nördlichen Stationen dagegen sinkt er, dort wird also das Wasser in die Tiefe hinabgedrängt. Nur ist dieser Fall viel schwächer ausgeprägt im Vergleich zu den anderen, was auch dadurch zu erklären ist, daß die Südwinde, durch die Vorderseite einer Zyklone verursacht, nie so stark und anhaltend aus der gleichen Richtung wehen wie die Nordwinde — das ist auch eine in der Meteorologie sehr bekannte Tatsache.

<sup>1</sup> Nach theoretischer Überlegung ist bei Querwinden keine vertikale Zirkulation zu erwarten, sondern Schwingungen des Wassers. (Nach gütiger mündlicher Mitteilung Prof. Dr. A. Defants).

<sup>2</sup> Eine solche Vertikalzirkulation müßte z. B. auch im Adriatischen und Kaspischen Meere vorkommen. Aus dem Adriatischen Meere fehlen die Beobachtungen, während diese Tatsache im Kaspischen Meere durch eine in anderer Richtung geführte Untersuchung von H. v. Ficker bestätigt wird. In den »Annalen der Hydrographie usw.«, 1920, p. 231, sagt er: »... Bedenkt man aber, daß in Kuuli im Juni das Wasser um 5·6° C., in Krasnowodsk immerhin noch um 2·9° C. kälter ist als in dem um 4° nördlicher, dem Nordufer nahe gelegenen Tschetschen, sieht man sich doch genötigt, überdies die Wirkung kalten Auftriebwassers anzunehmen, obwohl die vorherrschende Windrichtung dieser Annahme nicht besonders günstig ist.«

Ungefähr dasselbe sagt er auch in der Zusammenfassung, Punkt 7. Nach diesen Tatsachen muß es sich unbedingt um die vorhin erklärte Vertikalzirkulation handeln, die aber durch Bodenkonfiguration verschieden modifiziert sein kann. Im Winter wird diese durch die Eisdecke in der nördlichen Hälfte des Kaspischen Meeres verhindert und es kommt lediglich zur horizontalen Advektion wärmeren Wassers aus dem Süden. In bezug auf die Mittelwerte der Wassertemperatur im Kaspischen Meer sei auf die Erklärung am Schlusse dieser Untersuchung verwiesen.

Nach dem auf p. 21, 22 und 23 gesagten ist zur Erklärung der Temperaturanstiege nur mehr wenig hinzuzufügen. Aus der synoptischen Besprechung der Temperaturanstiege ergab sich, daß dieselben nicht so, wie die Temperaturfälle, in großen Gebieten gleichzeitig eintreten, daß sie nicht so hohe Beträge erreichen und so sprungartig auftreten, und daß sie auch in den Begleitumständen, wie Wind und Strömung, keine einheitliche Erscheinung darstellen. Als Ursache für diese Temperaturanstiege müssen wir daher mehr lokal und zeitlich begrenzte Umstände ansehen, wie insbesondere die Insolation und, lokal begrenzt, die Advektion von Wasser, das über Untiefen wesentlich stärker erwärmt worden ist. Daneben dürfte wohl auch die Beeinflussung der Wassertemperatur durch die Lufttemperatur von Wirkung sein, aber gerade bei den für Temperaturanstiege günstigen Wetterlagen ist die Luftbewegung sehr klein, so daß also nur ein relativ geringes Luftquantum für den Wärmeaustausch verfügbar ist. Auf jeden Fall ist man aus den vorliegenden Beobachtungen nicht in der Lage, die beiden Ursachen, nämlich Insolation und Einfluß anders temperierter Luft auf das Wasser, zu trennen. Es wäre jedenfalls wünschenswert, durch Laboratoriumsversuche die Beeinflussung bei verschiedenen Windgeschwindigkeiten zu untersuchen, auch die Oberfläche des Wassers (glatt, Wellen, Gischt) wird auf die Größe des äußeren Wärmeleitungskoeffizienten von großem Einfluß sein. Derzeit sind wir noch nicht einmal über die Größenordnung dieses Faktors orientiert.

So hat die Untersuchung dieser Temperaturanstiege keine neue Erkenntnis gebracht, aber gerade dieses negative Ergebnis ist besonders wertvoll im Hinblick auf die bei den Temperaturfällen gegebene Erklärung.

Durch unsere Erklärung der Ursachen der Temperaturfälle im Bottnischen Meerbusen können noch einige andere Erscheinungen erklärt werden, die sonst sehr schwer erklärbar wären:

Es kommen im Frühling und nach dem Monat September (also in der Zeit Oktober bis Mai) keine oder keine so großen Temperaturfälle vor. Dieses ist um so sonderbarer, da in diesen Monaten öfters starke Stürme vorkommen.

Diese Erscheinung ergibt sich ohne weiteres aus der, bei den Temperaturfällen gegebenen Erklärung. Die vertikale Zirkulation des Wassers, das Emporsaugen von Tiefenwasser, muß sich naturgemäß bei anhaltenden starken Längswinden auch im Winterhalbjahr einstellen, wenn nicht das Meer mit Eis bedeckt ist. In dieser Jahreszeit ist aber das Tiefenwasser gegen das Oberflächenwasser nicht kalt, es herrscht vielmehr nahezu Isothermie. Eine vertikale Mischung kann daher die Oberflächentemperatur nur unwesentlich beeinflussen.

Diese Tatsache mag auch zur Erklärung der oft schlechten Korrelationsfaktoren zwischen der Luft- und Wassertemperatur in diesen Monaten dienen, da in der Wassertemperatur in dieser Zeit bei Stürmen beinahe gar keine Änderungen vor sich gehen, während diese in der Lufttemperatur sehr groß sind.

In den dänischen Gewässern kommen keine durchgreifenden Temperaturfälle vor. Ich habe bei genauer Untersuchung des umfangreichen dänischen Beobachtungsmaterials keine durchgreifenden Temperaturfälle festgestellt. Um diesen Umstand zahlenmäßig festzustellen, mögen folgende Zahlenwerte genannt werden: Ich habe vier Jahre willkürlich herausgegriffen, nämlich die Jahre 1911, 1913, 1923 und 1924. In der Auswahl leitete mich nur das Bestreben, solche Jahre zu nehmen, in deren Beobachtungen sich keine Lücken befinden, weder im finnischen noch im dänischen. Die Resultate sind in den folgenden Tabellen 14 und 15 zusammengestellt.

Tabelle 14.

Häufigkeit der Temperaturänderungen von einem Tag zum nächsten in den Monaten April—November in den Jahren 1911, 1913, 1923, 1924 zusammen:

Über	1°	2°	3°	4°	5° C. u. mehr
Skagens Rev. . . . .	121	8	3	0	0
Anholt Knob. . . . .	57	8	0	0	0
Gjedser Rev	90	9	4	1	0
Drogden. . . . .	102	9	0	0	0
Christiansö	33	2	0	0	0
Utö.	234	52	17	5	2
Säbbskär	330	113	54	25	9
Ulkokalla. . . . .	186	51	11	3	1

Tabelle 15.

Häufigkeit der Temperaturänderungen von einem Tag zum nächsten in den Jahren 1911, 1913, 1923 und 1924 für die Monate April—November:

Über	1°	2°	3°	4°	5° C. u. mehr
Mittel pro eine dänische Station	80·6	7·2	1·4	0·2	0·0
Mittel pro eine finnische Station	..250·0	72·0	27·3	11·0	4·0
Verhältnis Finnland : Dänemark	3·1	10·0	19·5	55·0	<u>∞</u>

Aus diesen Tabellen ist ganz klar zu ersehen, daß in den dänischen Gewässern Temperaturschwankungen des Oberflächenwassers viel seltener sind als im Bottnischen Meerbusen und daß dort Schwankungen über 4° C., von einem Tag zum nächsten in den untersuchten Jahren überhaupt nicht vorkommen.<sup>1</sup>

Zur Erklärung dieser Unterschiede kann folgendes angeführt werden:

Durch Winde werden Strömungen an der Meeresoberfläche hervorgerufen. Je stärker und anhaltender der Wind ist, desto intensiver wird die Strömung. Durch die Strömungen wird Wasser

<sup>1</sup> Siehe auch M. Knudsen, Annalen der Hydrographie usw., 1901, p. 90, Schlußbemerkung.

weggetrieben und es muß von irgendwoher ein Ersatz des abgetriebenen Wassers zugeführt werden. Wenn ein Ersatz der Wassermassen in horizontaler Richtung nicht möglich ist, muß Tiefenwasser aufsteigen. Ist aber ein Ersatz in horizontaler Richtung möglich, so entsteht ein Kompensationsstrom. Wie steht es nun in Dänemark damit? Die dänischen Gewässer sind Meeresengen, die nach beiden Seiten hin offen sind. Bei einem starken und anhaltenden Wind in der Längsrichtung (ein Querwind kommt hier wegen der sehr geringen Breite überhaupt nicht in Betracht) kommt es zu starken Strömungen, wobei aber das abgetriebene Wasser immer durch horizontale Kompensationsströmungen ersetzt werden kann und daher auch kein Auftrieb kalten Tiefenwassers entsteht. Geht die Strömung, durch starken Wind verursacht, in die Ostsee hinein, so kann durch den Skagerrak und Kattegat das abgetriebene Wasser horizontal ersetzt werden, ist die Strömung umgekehrt, dann kann das abgetriebene Wasser aus der Ostsee horizontal ersetzt werden. Wir kommen so zu einem allgemeineren Schluß: In einem Meer, das nach beide Seiten hin offen ist, entsteht bei starkem und anhaltendem Längswind eine intensive Oberflächenströmung. Ein Auftrieb kalten Tiefenwassers kommt nicht zustande, da ein Ersatz der abgetriebenen Wassermassen durch horizontale Kompensationsströmungen immer möglich ist.

Die relativ häufigen größeren Temperaturschwankungen in Gjedser Rev sind durch die Bodenkonfiguration, die Darsser Schwelle, zu erklären. Der ozeanische, in die Ostsee hineingehende Tiefenstrom muß dort diese Schwelle passieren, also aufsteigen und sich aufstauen. Möglicherweise kann in Fällen, wenn der von der Ostsee hinausgehende Oberflächenstrom schwach ist, der Tiefenstrom sich recht nahe an die Oberfläche heben und durch einen starken Wind bloßgelegt werden, wodurch auch ein Temperaturfall von 1 bis 3° C. erklärlich ist. Es könnte sich aber auch zuweilen um Auftriebwasser, das von der sehr nahen Festlandküste herangeweht wird, handeln. Durch diese zwei Ursachen sind die relativ häufigen Temperaturfälle in Gjedser Rev genügend erklärt.

Es bleiben uns nun noch einige Erscheinungen auf Grund der Untersuchung der Einzelfälle zu erklären:

Es ist das zu allererst die überraschend gute Korrelation zwischen der Luft- und Wassertemperatur in der Ostsee in kürzeren Zeiträumen. Die Korrelation besagt nicht, daß eine physikalische Beziehung zwischen den beiden Veränderlichen besteht, sondern legt nur eine Parallelität fest; dieselbe kann auch entweder durch eine gemeinsame dritte Ursache oder auch durch ganz verschiedene Ursachen entstanden sein. Aus der Besprechung der Temperaturfälle ergibt sich mit Sicherheit, daß diese Parallelität durch verschiedene Ursachen bedingt war, nämlich bei der Lufttemperatur durch Advektion kalter Luft, bei der Wassertemperatur durch Aufsaugen des kalten Tiefenwassers. Nur bei den Temperaturanstiegen ist es sehr wahrscheinlich, daß hier sowohl eine direkte Beeinflussung

vorhanden ist, wie auch eine dritte gemeinsame Ursache, nämlich die Insolation.

Zum Schluß wollen wir auf den merkwürdigen jährlichen Temperaturgang im Ostseewasser etwas näher eingehen. Wir haben festgestellt, daß der Anstieg in der Wassertemperatur rasch und mit großen Schwankungen vor sich geht, während der Temperaturabfall viel regelmäßiger und meist stufenweise verläuft. Um diesen merkwürdigen Umstand zu erklären, müssen wir uns

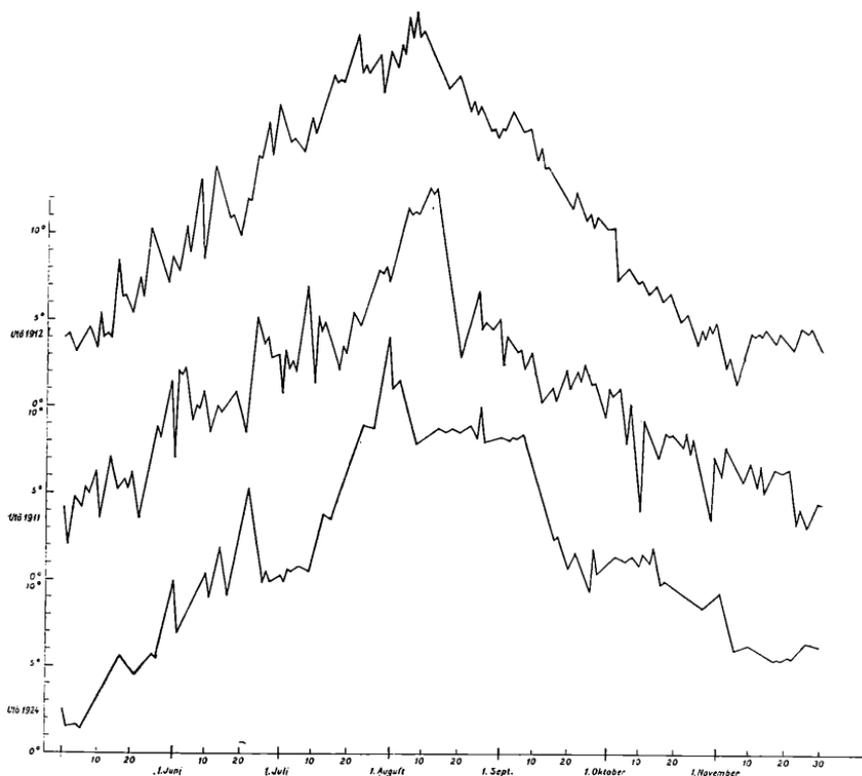


Fig. 4.

zwei Tatsachen vor Augen halten: es wurde oben festgestellt, daß im Juni und Juli die Wassertemperatur nach einem Temperaturfall wieder rasch steigt und bald höhere Beträge erreicht als vor dem Fall, während nach den Temperaturfällen in August die Temperatur nur langsam und wenig steigt und bis zum allgemeinen Abfall der Wassertemperatur erheblich unter der Höhe, die sie vor dem Fall erreichte, bleibt. Diese Tatsachen entsprechen nun vollkommen der Temperaturkurve: im Juni—Juli herrschen Schwankungen vor, im August Stufen.

Versuchen wir nun diese Erscheinung zu erklären: In beiden Fällen, im aufsteigenden sowie im absteigenden Ast der Wasser-

temperatur kommt es bei gegebenen Vorbedingungen zur vorhin erwähnten Vertikalzirkulation und dadurch zu einer Durchmischung der Wassermassen. Nun ist diese Durchmischung hier von größter Bedeutung: Im aufsteigenden Ast der Wassertemperatur sind die Tiefentemperaturen noch sehr niedrig und die Erwärmung nur auf die dünne Oberflächenschicht beschränkt. Die großzügige Durchmischung bei der Vertikalzirkulation wirkt nun in sehr großem Maß für das Tiefenwasser temperaturerhöhend. Es bildet sich nach dem Temperaturfall wieder eine Sprungschicht, jetzt ist aber die Anfangstemperatur für die Erwärmung eine höhere, weshalb auch die Oberflächentemperatur viel höher steigen kann. Bei einer neuerlichen vorkommenden Vertikalzirkulation wird die Tiefentemperatur in ganz kurzer Zeit durch die Durchmischung wieder erhöht, so entsteht wärmeres homothermes Wasser bis zu einiger Tiefe, und es kann wieder durch die stärker werdende Insolation eine neue, noch höhere Oberflächentemperatur entstehen. So bewirkt im ansteigenden Ast der Wassertemperatur ein jeder Temperaturfall einen um so größeren Temperaturanstieg. Es ist so die Häufigkeit der Vertikalzirkulation (oder der anhaltenden starken Längswinde) von größter Bedeutung für die Erwärmung des Tiefenwassers. Von noch größerer Wichtigkeit ist aber die Dauer der Vertikalzirkulation: Wenn die Vertikalzirkulation im ansteigenden Ast der Wassertemperatur eine längere Zeit anhält, so kann dadurch das gesamte Wasser durch die Durchmischung mit dem um diese Zeit sehr tief temperierten Tiefenwasser so stark abgekühlt werden, daß der weitere Anstieg auf längere Zeit hinausgeschoben wird und die Wassertemperatur für einen längeren Zeitraum<sup>1</sup> unternormal bleibt. Auf diesen Umstand sei ganz besonders hingewiesen, um vor einer zu leichfertigen Bildung von Mittelwerten zu warnen. Durch eine solche Vertikalzirkulation kann ein Jahr in seinem Temperaturgang ganz wesentliche Abweichungen von anderen aufweisen.<sup>2</sup>

Während nach einem Temperaturfall im aufsteigenden Ast die Temperatur höher steigt, als sie vor dem Fall gewesen war, steigt sie nach einem Temperaturfall im August und September nur sehr langsam und wenig, bleibt aber erheblich unter der Höhe, die sie vor dem Fall erreichte, und geht dann in den allgemeinen Temperaturabfall über: das ist aber eine Stufe! Infolge der Durchmischung entsteht ein homothermes Wasser, deren Temperatur sehr erheblich niedriger ist, da jetzt der Temperaturfall von dem Höchstwert der Wassertemperatur im Jahr begann. Nun bleibt aber nach dem Fall die stärkere Insolation aus, da die Insolation jetzt schon im abnehmenden Stadium ist. Es wird sich das Oberflächenwasser allmählich

<sup>1</sup> Vgl. in Fig. 4 z. B. die Zeit vom 26. Juni bis 9. Juli 1924.

<sup>2</sup> Als Beispiel seien die Mitteltemperaturen des Wassers von Relandersgrund in Tabelle 16 für die Jahre 1900—1924 angeführt; so war z. B. im Jahre 1901 die Julitemperatur  $15.9^{\circ}\text{C}$ ., im darauffolgenden Jahr nur  $10.0^{\circ}\text{C}$ ., im Jahre 1914 sogar  $19.6^{\circ}\text{C}$ ., während sie im darauffolgenden August nur  $10.0^{\circ}\text{C}$ ., ist, wo doch normalerweise die Augusttemperaturen höher sind, als im Juli.

abzukühlen anfangen durch das Überwiegen der Ausstrahlung gegenüber der schwächer werdenden Einstrahlung und es bildet sich eine katotherme Temperaturschichtung. Wenn sich jetzt wieder eine neue Vertikalzirkulation und dadurch eine Durchmischung einstellt, so wirkt diese für das Tiefenwasser temperaturerniedrigend! Wie schnell sich das Tiefenwasser bis in die größten Tiefen abkühlt, hängt, wie leicht einzusehen, von der Häufigkeit der Vertikalzirkulation ab, für das Verschwinden des vertikalen Temperaturgefälles ist aber auch

Tabelle 16.

Mitteltemperaturen des Wassers in Relandersgrund.

Jahr	Juni	Juli	August	September
1900	8·45	13·26	14·88	8·63
1901.	10·68	15·92	17·47	11·39
1902..	6·34	9·99	13·71	11·54
1903.	7·66	13·20	14·61	13·30
1904..	7·20	9·83	12·04	9·80
1905..	10·58	13·52	14·62	11·55
1906.	8·80	14·54	13·08	8·95
1907	8·11	11·01	12·48	11·13
1908.	7·95	11·74	13·51	12·20
1909	8·75	13·46	13·42	13·30
1910...	9·99	13·13	12·14	12·25
1911.	7·59	11·95	14·29	11·09
1912..	9·60	15·39	17·96	12·12
1913.	8·33	13·63	15·37	12·69
1914 <sup>1</sup> .	10·84	19·57	10·00	9·63
1919	—	—	14·4	13·23
1920..	13·04 <sup>2</sup>	15·12	13·70	11·59
1921	10·65 <sup>2</sup>	11·57	13·53	12·30
1922	8·87	12·73	14·05	12·43
1923..	7·14	13·94	11·60	11·17
1924.	6·88	14·33	17·63	14·68

<sup>1</sup> Beobachtungen wegen Kriegs-, beziehungsweise Minengefahr unterbrochen.

<sup>2</sup> Mittelwert aus weniger Tagen berechnet.

die Dauer der Vertikalzirkulation von größter Wichtigkeit. Wir sehen somit, daß die Vertikalzirkulation auf den Charakter des jährlichen Temperaturabfalles einen sehr wesentlichen Einfluß ausübt. Wenn keine Vertikalzirkulation bis Mitte oder Ende September vorkommt, kann die hohe Wassertemperatur bis zu dieser Zeit erhalten bleiben, eine Vertikalzirkulation in den ersten Tagen August bewirkt aber, daß die Wassertemperatur so wesentlich herabgesetzt wird, daß diese durch die noch wenig abnehmende Insolation auch nicht mehr erwärmt werden kann und die Wassertemperatur der Monate August und September stark unternormal bleibt.<sup>1</sup> Infolgedessen wird in einem solchen Jahr das Maximum der Wassertemperatur im Juli und nicht im August erreicht. Diese Fälle kommen in Wirklichkeit gar nicht selten vor. Auch dieser Umstand mag als Warnung für die Beurteiler

<sup>1</sup> Vgl. in Fig. 4 August 1911 und 1924 und in Tab. 16 August 1914.

der mittleren Temperaturverhältnisse in ähnlichen Meeren wie der Bottnische Meerbusen dienen.

Zusammenfassend können wir also sagen, daß der charakteristische jährliche Gang der Wassertemperatur im Bottnischen Meerbusen und in der Ostsee durch dessen innere Ursachen, die vorhin erklärte Vertikalzirkulation, bedingt ist und Jahr für Jahr zufällige, auch große Abweichungen erfährt, die von den atmosphärischen Verhältnissen des betreffenden Jahres im größten Maß abhängig sind. Es ist somit die Vertikalzirkulation nicht nur für kurzperiodische Störungen der Wassertemperatur von Wichtigkeit, sondern es übt auch deren Häufigkeit und Dauer auf den jährlichen Gang der Wassertemperatur einen wesentlichen großen Einfluß aus.<sup>1</sup>

### Zusammenfassung.

1. Der jährliche Gang der Luft- und Wassertemperatur weist eine ausgesprochene Parallelität auf. Die Korrelationsfaktoren der Luft- und Wassertemperatur im Jahr sind in der gesamten Ostsee und den englischen Gewässern sehr groß, ihre Größe schwankt zwischen 0·82 und 0·95 mit einem wahrscheinlichen Fehler in der dritten Dezimale.

2. Der jährliche Gang der Wassertemperatur weist in der Ostsee ein charakteristisches Merkmal auf: Der Anstieg geht rasch und mit großen Schwankungen vor sich, während der Abfall viel regelmäßiger, langsamer und stufenweise verläuft. Die Häufigkeit und Größe der Schwankungen nimmt gegen N zu.

3. Im Gebiet der Ostsee ist die Korrelation zwischen der Luft- und Wassertemperatur auch in einzelnen Monaten eine gute, während in den englischen Gewässern, die die ozeanischen Verhältnisse repräsentieren, diese Korrelation durchwegs eine schlechte ist. In den Monaten des raschesten Anstieges und Abfalles der Wassertemperatur im jährlichen Gang ist die Korrelation durchwegs die beste. Die häufige Parallelität in kurzperiodischen Störungen wird teils durch gemeinsame, teils durch verschiedene Ursachen bedingt.

4. Es kommen an einzelnen Orten rasche und große Temperaturfälle an der Oberfläche vor, die durch Abwehen des erwärmten Oberflächenwassers und Auftrieb kalten Tiefenwassers bei anhaltendem starken Landwind verursacht sind, wie es schon Homén, Krümmel und Schott sehr zutreffend erklärt haben. Diese Fälle sind nicht selten und kommen besonders im Bottnischen Meerbusen sehr oft vor.

5. Die häufigsten und größten Temperaturfälle kommen an solchen Stellen vor, wo ein Tiefenstrom infolge einer Bodenerhebung aufzusteigen und sich aufzustauen oder eine Schwelle zu passieren

<sup>1</sup> Während im freien Ozean Einzelmessungen der Tiefentemperatur gewiß genügen, sollte in Flachseen, wie die Ostsee, zur genauen Feststellung der Verhältnisse nicht nur dreimal monatlich, sondern täglich die Tiefentemperatur auch in einiger Tiefe gemessen werden.

gezwungen ist. Die deckende erwärmte Oberflächenschicht ist da nur von geringer Mächtigkeit und kann durch kleinere oder weniger anhaltende Ursachen weggeweht und so das viel kältere Tiefenwasser bloßgelegt werden.

6. Es kommen große Temperaturfälle ungefähr gleichzeitig im ganzen Gebiet des Bottnischen Meerbusens vor. Diese treten nur bei starken und anhaltenden Längswinden im ganzen Bottnischen Meerbusen auf und gehen folgendermaßen vor sich: Das Tiefenwasser wird an der Lee-Küste, wie auch an allen Untiefen an die Oberfläche aufgesaugt und strömt dann mit dem Winde. Das Oberflächenwasser wird an der Luv-Küste in die Tiefe hinabgedrängt, wodurch dort eine Durchmischung des Wassers auftritt. Es entsteht so eine mächtige Vertikalzirkulation des Wassers in der ganzen Länge und Breite des Bottnischen Meerbusens. Diese Vertikalzirkulation tritt im Bottenwiek sowie in der Bottensee für sich selbständig auf.

7. Bei diesen Temperaturfällen findet zugleich mit dem Minimum in der Wassertemperatur auch ein Minimum in der Lufttemperatur statt, welches aber durch andere Ursachen bedingt ist: im Wasser durch Auftrieb kalten Tiefenwassers, in der Luft durch Advektion kälterer Luft. Eine gegenseitige Beeinflussung zwischen der Luft- und Wassertemperatur konnte nicht nachgewiesen werden.

8. Ein in Punkt 6 erwähnter Temperaturfall tritt nur dann auf, wenn sich vorher im Wasser ein starkes vertikales Temperaturgefälle vorfindet. Er ist um so größer, je größer die Differenz zwischen der Temperatur an der Oberfläche und in der Tiefe war und tritt um so schneller ein, je dünner die erwärmte Oberflächenschicht ist. In den Monaten, in denen ein vertikales Temperaturgefälle fehlt, kommen Temperaturfälle nicht vor. Durch den letzten Umstand kann auch die Korrelation zwischen der Luft- und Wassertemperatur in diesen Monaten erheblich herabgesetzt werden.

9. Nach den Temperaturfällen im Juni und Juli steigt die Wassertemperatur wieder rasch, und zwar höher als vor dem Fall, während nach den Temperaturfällen im August und September die Wassertemperatur nur langsam und wenig steigt und auch im weiteren Gang sehr erheblich unter der Höhe, die vor dem Fall an der Oberfläche herrschte, bleibt.

10. In den dänischen Gewässern kommen keine durchgreifenden Temperaturfälle in der Oberflächentemperatur des Wassers vor, auch sind dort die örtlichen Schwankungen in der Wassertemperatur viel kleiner und seltener als im Bottnischen Meerbusen. Dieser Umstand ist dadurch zu erklären, daß die dänischen Gewässer auf beide Seiten hin offen sind und daher das abgewehrte Oberflächenwasser immer durch horizontale Strömungen ersetzt werden kann und ein Auftrieb kalten Tiefenwassers darum auch nicht hervorgerufen wird.

11. Es ist sehr wahrscheinlich, daß ganz allgemein in mehr oder weniger abgeschlossenen länglichen Meeren bei anhaltenden Längswinden die in der Ostsee festgestellte Vertikalzirkulation auftritt und zu ganz analogen Erscheinungen in der Temperaturverteilung

führt. In beiderseits offenen Meeren wird es dagegen nur zu horizontalen Strömungen kommen.

12. Sprungartige Temperaturanstiege im Oberflächenwasser kommen im ganzen Bottnischen Meerbusen gleichzeitig nicht vor. Es kommen sprungartige Temperaturanstiege an mehreren Stationen zugleich oder an einzelnen Stationen vor, sind aber im Vergleich zu der Häufigkeit der Temperaturfälle viel seltener. Nicht berücksichtigt werden diejenigen Anstiege, die infolge eines Temperaturfalles als Wiederkehr in normale Verhältnisse stattfinden. Diese Temperaturanstiege entstehen durch verschiedene Ursachen, und es hat die Untersuchung der Einzelfälle zum Schluß geführt, daß hier auch eine Beeinflussung der Wassertemperatur durch die viel höhere Lufttemperatur eine Rolle spielt. Die Größe der letztgenannten Ursache konnte aber nicht festgestellt werden, da dazu die Anhaltspunkte noch fehlen.

13. Zum Schluß kann gesagt werden, daß die Häufigkeit und Dauer der Vertikalzirkulation auch auf den jährlichen Gang der Wassertemperatur einen großen Einfluß ausübt, indem durch die verschieden wirkende Durchmischung der Wassermassen bei dieser Vertikalzirkulation die Temperaturverhältnisse der einzelnen Monate sowie der einzelnen Jahre sehr stark geändert werden.

Innsbruck, Dezember 1927

Institut für kosm. Physik.

---

# ZOBODAT - [www.zobodat.at](http://www.zobodat.at)

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Sitzungsberichte der Akademie der Wissenschaften  
mathematisch-naturwissenschaftliche Klasse](#)

Jahr/Year: 1928

Band/Volume: [137\\_2a](#)

Autor(en)/Author(s): Mäe Hjalmar

Artikel/Article: [Über die Temperatursprünge in der Ostsee. 7-50](#)