

MERENTUTKIMUSLAITOKSEN JULKAISU N:o 123
HAVSFORSKNINGSINSTITUTETS SKRIFT

ZUR FRAGE DES PROGNOTISCHEN
WERTES DER WASSERTEMPERATUR
IM SCHÄRENMEER

VON
EUGENIE LISITZIN



HELSINKI 1939 HELSINGFORS

MERENTUTKIMUSLAITOKSEN JULKAISU N:o 123
HAVSFORSKNINGSINSTITUTETS SKRIFT

ZUR FRAGE DES PROGNOTISCHEN
WERTES DER WASSERTEMPERATUR
IM SCHÄRENMEER

VON
EUGENIE LISITZIN



HELSINKI 1939 HELSINGFORS

Helsinki 1939. Valtioneuvoston kirjapaino.

Inhaltsverzeichnis.

	Seite.
1. Allgemeines	5
2. Das Untersuchungsgebiet	6
3. Die Untersuchungsperiode	7
4. Mittlere Temperatur der ganzen Wassersäule	8
5. Der Wärmeinhalt des Schärenmeeres	9
6. Der allgemeine Gang der Abkühlung des Wassers	11
7. Korrelationskoeffizienten für die einzelnen Beobachtungstermine	14
8. Korrelationskoeffizienten für Monatsmittelwerte	16
9. Der Einfluss der Lufttemperatur auf die Abkühlung des Wassers ..	17

T a b e l l e n.

	Seite.
1. Der Zeitpunkt für das Eintreten der Temperaturmaxima in verschiedenen Tiefen bei Lohm und Jungfruskär	7
2. Mittlere Temperatur der ganzen Wassersäule bei Lohm für die Zeit September 1. bis Februar 1.	9
3. Mittlere Temperatur der ganzen Wassersäule bei Jungfruskär für die Zeit September 1. bis Februar 1.	10
4. Die Abweichungen der Temperatur bei Lohm vom vieljährigen Mittelwert	13
5. Die Abweichungen der Temperatur bei Jungfruskär vom vieljährigen Mittelwert	13
6. Die Korrelationskoeffizienten für die mittlere Temperatur bei Lohm für ein bestimmtes Datum und nach Verlauf von n Tagen	15
7. Die Korrelationskoeffizienten für die mittlere Temperatur bei Jungfruskär für ein bestimmtes Datum und nach Verlauf von n Tagen ..	15
8. Die Korrelationskoeffizienten für die mittlere Monatstemperatur der ganzen Wassersäule	16
9. Beobachtete mittlere Wassertemperatur, mittlere Lufttemperatur während der folgenden Dekade, berechnete mittlere Wassertemperatur und die Differenzen der Wassertemperaturen	18
10. Die kleinste auf Grund der Abkühlungsregel berechnete Wassertemperatur bei Lohm und Jungfruskär	21

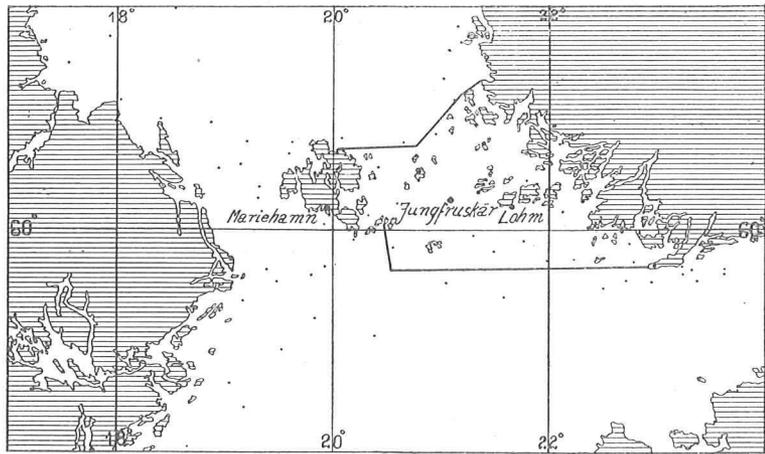


Fig. 1. Das Schärenmeer.

1. Allgemeines. Die Temperatur des Oberflächenwassers ist von der Lufttemperatur abhängig. Doch zeigt schon ein flüchtiger Vergleich des jährlichen Ablaufs der Wassertemperatur mit demjenigen für die Lufttemperatur, dass die fast ununterbrochen stattfindenden, oft recht scharfen Schwankungen der letzteren bei der Wassertemperatur mehr oder weniger gedämpft sind¹⁾. Es beruht dies einerseits auf der hohen spezifischen Wärme des Wassers, andererseits auf der im Vergleich mit der Luft geringeren Beweglichkeit der Wassermassen. Auch der entgegenwirkende und ausgleichende Einfluss der tiefer gelegenen Wasserschichten ist von gewisser Bedeutung für die Abkühlung des Oberflächenwassers. Der letztgenannte Faktor wird von BJERKNES u. a.²⁾ in folgender Weise beschrieben: »Das Meer . . . lässt sich nur langsam abkühlen, denn das an der Oberfläche abgekühlte Wasser sinkt sofort, vermöge seiner zunehmenden Dichte, und wird von unten her durch anderes Wasser ersetzt. In dieser Weise verteilt sich die Abkühlung allmählich auf grosse Wassermassen und wird deshalb nur von kleinem Temperaturbetrag.«

Aber nicht nur die Lufttemperatur sondern auch andere meteorologische Faktoren können die Wassertemperatur in hohem Mass beeinflussen. In diesem Zusammenhang wollen wir vor allem auf die Einwirkung des Windes hinweisen, die besonders in langgestreckten Meeresbecken durchgreifend werden kann. Dabei handelt es sich selbstverständlich nicht um eine direkte Erwärmung bzw. Abkühlung des Wassers, sondern um eine Umlagerung ganzer Wasserschichten, die jedoch, wenn man der Entwicklung der meteorologischen Faktoren nicht folgt und nur über Beobachtungsmaterial aus einem begrenzten Gebiet verfügt, ein vollständig unrichtiges Bild der herrschenden hydrographischen Lage vortäuschen kann. Ein sehr beleuchtendes Beispiel in dieser Hinsicht bietet die Einwirkung von stärkeren, an-

¹⁾ Vgl. z. B. MELIN, RAGNAR: Yttemperaturer i svenska vattendrag. Medd. fr. Statens Meteorol. - Hydrogr. Anstalt. Bd. 7, N:o 4. Stockholm 1938.

²⁾ BJERKNES, V., BJERKNES, J., SOLBERG, H. und BERGERON, T.: Physikalische Hydrodynamik. S. 659. Berlin 1933.

dauernden E- bzw. W-Winden auf die Temperatur- und Salzgehaltverteilung im Finnischen Meerbusen. Die betreffende Erscheinung ist von PALMÉN¹⁾ näher untersucht worden.

2. Das Untersuchungsgebiet. Will man somit die Abkühlung des Meerwassers als eine mehr oder weniger ungestörte hydrographische Erscheinung verfolgen, so muss man als Untersuchungsobjekt ein Gebiet wählen, wo die Einwirkung des Windes wenigstens nicht so grosse Veränderungen mit sich führt. In dieser Hinsicht scheinen die beiden Schärenmeerstationen Lohm (60°07' N, 21°41' E) und Jungfruskär (60°08' N, 21°04' E) ziemlich geeignet zu sein. Sie gehören ausserdem beide zu den tieferen meereskundlichen Stationen in Finnland und unterscheiden sich dadurch, dass Lohm (Grundtiefe 50 m) eine ausgeprägte Schärenhofstation ist, während Jungfruskär (Grundtiefe 40 m) weiter meerwärts gelegen ist. Im Vergleich mit den Stationen im Finnischen Meerbusen befinden sich die erwähnten Beobachtungsstationen auch deswegen in einer günstigeren Lage, dass bei diesen die Salzgehaltzunahme gegen die Tiefe hin geringer als bei jenen ist, wodurch die Herbsthomogenisierung die ganze Wassersäule umfassen kann, während die Deckschicht im Finnischen Meerbusen nur eine Mächtigkeit von 20—30 m hat (vgl. GRANQVIST²⁾). Bei der Untersuchung der Abkühlung des Wassers können wir deshalb in betreff Lohm und Jungfruskär die Beobachtungen von der Oberfläche bis zum Grunde verwenden. Im Finnischen Meerbusen kann dagegen die von Jahr zu Jahr, bisweilen sogar im Laufe von viel kürzeren Perioden, recht stark schwankende Dicke der Deckschicht die Rechenergebnisse gewissermassen beeinflussen. Was schliesslich die Stationen des Bottnischen Meerbusens anbetrifft, so sind sie im allgemeinen seicht und deshalb für das ganze Gebiet nur wenig repräsentativ.

Ein weiterer Vorteil des Schärenmeeres im Vergleich mit dem Finnischen und Bottnischen Meerbusen besteht darin, dass dieses Gebiet recht klein ist, wodurch die Temperaturverhältnisse in seinen verschiedenen Teilen nur wenig voneinander abweichen. In einer anderen Hinsicht steht dagegen das Schärenmeer den beiden Meerbusen nach. Es ist nämlich nicht in Ähnlichkeit mit diesen ein mehr oder weniger begrenztes Meeresbecken, sondern vielmehr ein typisches Übergangsbereich, das den Bottnischen Meerbusen mit der Ostsee verbindet. Dies übt ohne Zweifel einen gewissen störenden Einfluss auf die hydrographischen Verhältnisse des betreffenden Gebietes aus. So z. B. wirkt

¹⁾ PALMÉN, E.: Untersuchungen über die Strömungen in den Finnland umgebenden Meeren. Soc. Sc. Fenn., Comm. Phys.-Math. V. 12. Helsingfors 1930.

²⁾ GRANQVIST, GUNNAR: Zur Kenntnis der Temperatur und des Salzgehaltes des Baltischen Meeres an den Küsten Finnlands. Merentutk. Julk./Havsforskn. Skr. N:o 122 und Fennia 65, N:o 2. Helsinki/Helsingfors 1938.

die horizontale Wasserumsetzung, die im Schärenmeer durchschnittlich etwa von Süden nach Norden gerichtet ist¹⁾, der Abkühlung des Wassers im Herbst gewissermassen entgegen, da sie wärmeres Ostseewasser mit sich führt. Die Temperaturunterschiede sind jedoch nicht gross. Auf Grund der Untersuchungen von GRANQVIST können wir berechnen, dass etwa Mitte November die 40—50 m umfassenden oberen Schichten der nördlichen Ostsee 1—2° wärmer als diejenigen des Schärenmeeres sind. Da wir ausserdem annehmen können, dass es sich hierbei um einen stetig einwirkenden Faktor handelt, lassen wir ihn im folgenden unberücksichtigt.

3. Die Untersuchungsperiode. Nach den Untersuchungen von GRANQVIST erreicht die Oberflächentemperatur an den Küsten Finnlands ihr Maximum etwa um die Monatswende Juli—August oder während der ersten Augustdekade, wobei die Stationen im SW (unter ihnen auch Lohm und Jungfruskär) das späteste Datum aufweisen. Gegen die Tiefe hin wird der Zeitpunkt für das Eintreten der höchsten Temperatur immer mehr verspätet. Auf Grund der von GRANQVIST vermittels harmonischer Analyse ausgeglichenen Temperaturwerte für den Zeitraum 1921—1930 erhalten wir für das Eintreten der Maxima in verschiedenen Tiefen bei Lohm und Jungfruskär die in Tab. 1 zusammengestellten Daten. Aus dieser Tabelle geht hervor, dass die beiden Stationen für die entsprechenden Tiefen eine gute Übereinstimmung aufweisen, indem die Abweichungen höchstens drei Tage betragen, und dass, wie zu erwarten ist, die Maxima bei Jungfruskär später als bei Lohm eintreten.

Tab. 1. Der Zeitpunkt für das Eintreten der Temperaturmaxima in verschiedenen Tiefen bei Lohm und Jungfruskär.

	0 m	5 m	10 m	20 m	30 m	40 m	50 m
Lohm	VIII 6	VIII 7	VIII 11	VIII 27	IX 18	IX 26	X 1
Jungfruskär	VIII 7	VIII 9	VIII 13	VIII 27	IX 21	IX 28	—

Das Verspäten der Maxima nach Massgabe der Tiefe verursacht, dass die mittlere Temperatur der ganzen Wassersäule an den betreffenden Schärenmeerstationen durchschnittlich erst in den letzten Tagen des Augusts ihren grössten Wert erreicht. Bei der Untersuchung der Abkühlung der ganzen Wassersäule ist es deshalb am geeignetsten, nur

¹⁾ Vgl. z. B. PALMÉN, loc. cit.

die Beobachtungen aus der Zeit September bis Januar zu verwenden. Im Februar ist nämlich die Temperaturabnahme im Schärenmeer bei den Tiefenmessungsstellen der fraglichen Stationen gewöhnlich schon so weit fortgeschritten, dass die fortgesetzte Entwicklung fast ausschliesslich in Eisbildung resultiert, d. h. in einem Prozess, der von der Abkühlung des Wassers in hohem Mass abweicht. Der störende Einfluss der Eisbildung macht sich zwar auch im Januar, bisweilen sogar schon im Dezember geltend¹⁾, aber ihre Einwirkung ist nicht so durchgreifend und tritt bei der Bildung der Mittelwerte stark zurück. Will man dagegen die gesamte Erscheinung bis zum Kulminationsstadium des Winters verfolgen, so muss man vermittels der Eisdicke die entsprechenden Kalorienzahlen berechnen und die Temperatur des Eises berücksichtigen. Dabei stossen wir jedoch auf gewisse Schwierigkeiten. Erstens ist die Eisdicke im allgemeinen nicht mit derselben Genauigkeit, wie es bezüglich der Temperatur der Fall ist, bestimmt worden. Besonders für Lohm, welche Station an einer rege befahrbaren Seeverkehrsstrasse liegt, sind die Angaben über die Eisdicke sehr spärlich und unregelmässig. Ausserdem wird die Eisdicke jeden Freitag gemessen; diese Beobachtungen sind somit mit denjenigen über Temperatur nicht gleichzeitig, da die letzteren den 1., 11. und 21. eines jeden Monats gemacht werden. Freilich würde eine Interpolation in den meisten Fällen, wo die Eisdicke stetig zunimmt, keine nennenswerten Schwierigkeiten bereiten. Was dagegen die Angaben über Temperatur des Eises anbetrifft, so mangelt es uns gänzlich an diesbezüglichen Beobachtungen. Nicht einmal die Lufttemperatur bei Lohm und Jungfruskär ist bestimmt worden. Zwar könnte man diese auf Grund der Temperaturbeobachtungen für einige im Randgebiet des Schärenmeeres gelegene Orte interpolieren, aber ein solches Verfahren würde ohne Zweifel hinsichtlich des schliesslichen Resultats, der Dicke des Eises bei Lohm und Jungfruskär, eine viel zu grobe Approximation besagen.

4. Mittlere Temperatur der ganzen Wassersäule. Mit Rücksicht auf die Beobachtungen über die Temperatur des Wassers gehören die Stationen Lohm und Jungfruskär zu den am besten funktionierenden meereskundlichen Stationen in Finnland²⁾. Dies gilt nicht nur bezüglich der Genauigkeit und Zuverlässigkeit der Beobachtungsergebnisse, sondern auch in betreff der Tatsache, dass die Anzahl der fehlenden

¹⁾ Vgl. JURVA, RISTO: Über die Eisverhältnisse des Baltischen Meeres an den Küsten Finnlands nebst einem Atlas. Merentutk. Julk./Havsforskn. Skr. N:o 114 und Fennia 64 N:o 1. Helsinki/Helsingfors 1937.

²⁾ Die Originalbeobachtungen sind in extenso in Merentutk. Julk./Havsforskn. Skr. N:o 16, 20, 26, 34, 38, 45, 51, 58, 65, 75, 82, 88, 92, 100, 105, 109 und 120, Helsinki/Helsingfors 1922—38, veröffentlicht worden. Die Beobachtungen aus dem Jahre 1937/38 sind jedoch nur in Vorbereitung.

Beobachtungsreihen, besonders in den letzten Jahren, sehr gering ist, wie es auch aus Tab. 2 und 3 näher hervorgeht. Diese Tabellen, von denen sich jene auf Lohm und diese auf Jungfruskär bezieht, enthalten die mittleren Temperaturen der ganzen Wassersäule für den Zeitraum September 1. bis Februar 1. in den Jahren 1920/21—1937/38. Die kursiv gedruckten Werte geben dabei an, dass die betreffenden Beobachtungsreihen fehlten und vermittels Interpolation erhalten worden sind. In einigen Fällen wurden die Temperaturbeobachtungen nicht an den vorgeschriebenen Terminen, sondern ein paar Tage später gemacht. Wir haben jedoch im allgemeinen von diesen Zeitdifferenzen abgesehen und die Temperaturwerte als solche verwendet.

Ein Vergleich der beiden Tabellen miteinander ergibt, dass trotz der verschiedenen Grundtiefe und Lage der beiden Stationen die entsprechenden Temperaturwerte eine im grossen und ganzen befriedigende Übereinstimmung aufweisen, dass aber Jungfruskär einen ausgeprägt mehr maritimen Charakter hat als Lohm, was besonders in den Mittelwerten für Dezember und Januar deutlich zum Vorschein kommt.

5. Der Wärmehalt des Schärenmeeres. Auf Grund der Mitteltemperaturwerte der Tab. 2 und 3 können wir einige interessante Schlussfolgerungen über die Wärmeaufspeicherung und über die im

Tab. 2 Mittlere Temperatur der ganzen Wassersäule bei Lohm für die Zeit September 1. bis Februar 1.

(Die kursiv gedruckten Werte sind interpoliert worden.)

	IX			X			XI			XII			I			II
	1.	11.	21.	1.	11.	21.	1.	11.	21.	1.	11.	21.	1.	11.	21.	1.
1920/21	13.1	12.6	13.0	12.4	11.7	10.0	8.4	7.8	6.8	5.7	4.5	4.2	2.5	2.1	1.6	0.4
1921/22	<i>12.7</i>	<i>12.1</i>	<i>11.6</i>	<i>11.0</i>	<i>10.0</i>	8.8	<i>7.0</i>	<i>5.4</i>	<i>4.2</i>	3.2	1.8	1.2	0.7	0.2	0.0	-0.2
1922/23	13.1	12.6	12.3	11.2	10.2	8.9	7.3	6.0	4.7	3.5	2.5	0.6	1.1	0.8	0.4	0.0
1923/24	11.5	11.2	11.3	11.0	10.4	9.4	8.6	7.3	6.0	4.0	3.7	1.7	0.0	-0.2	-0.3	-0.2
1924/25	10.8	13.3	12.2	10.3	11.4	10.7	9.7	8.1	7.1	6.5	4.9	4.5	4.3	3.8	2.9	2.2
1925/26	12.1	11.5	11.3	10.9	8.8	7.5	6.2	4.4	3.7	1.2	0.7	0.4	0.0	-0.3	-0.3	-0.4
1926/27	9.9	9.4	9.7	9.2	9.6	8.0	5.7	5.1	5.0	3.8	3.1	1.5	0.3	0.0	-0.3	-0.4
1927/28	11.5	12.0	10.7	10.9	9.3	8.7	7.2	5.8	4.0	2.9	1.8	0.4	-0.2	-0.4	-0.4	-0.1
1928/29	8.8	10.4	10.5	9.6	8.4	7.5	7.6	6.2	6.2	5.8	4.6	2.9	1.9	1.2	-0.2	-0.4
1929/30	10.1	9.6	11.7	11.0	9.8	8.6	8.2	7.1	6.6	5.8	5.6	4.1	3.7	3.5	3.1	1.5
1930/31	12.5	11.7	11.7	11.1	9.1	9.2	8.8	7.8	5.6	5.1	3.7	2.3	0.6	0.0	-0.2	-0.2
1931/32	11.9	10.5	10.3	10.0	9.8	8.7	6.6	6.6	5.3	3.6	2.9	2.2	0.5	0.2	0.8	0.0
1932/33	11.7	11.0	10.8	10.5	9.2	8.6	7.1	6.2	5.6	5.0	4.2	4.1	3.5	2.7	0.1	0.1
1933/34	13.0	11.9	11.5	11.4	10.3	9.4	7.9	7.4	5.0	4.2	2.7	1.8	1.2	0.6	0.1	0.0
1934/35	13.8	13.4	13.8	13.1	13.3	11.2	10.0	9.2	8.0	5.9	5.2	4.6	3.4	1.0	0.9	0.0
1935/36	11.9	11.9	12.1	11.2	10.6	9.6	8.6	7.6	5.4	4.5	4.1	3.1	3.0	1.8	1.4	0.3
1936/37	11.9	11.9	11.3	9.6	8.8	7.6	7.2	6.7	5.6	4.8	4.3	3.8	3.3	2.7	0.1	0.1
1937/38	13.1	14.8	11.8	11.6	10.5	10.4	9.9	9.2	7.3	5.9	1.8	0.4	0.3	0.1	0.0	0.0
Mittel	11.9	11.8	11.5	10.9	10.1	9.0	7.9	6.9	5.7	4.5	3.4	2.4	1.7	1.1	0.5	0.2

Tab. 3. Mittlere Temperatur der ganzen Wassersäule bei Jungfruskär für die Zeit September 1. bis Februar 1.

(Die kursiv gedruckten Werte sind interpoliert worden.)

	IX			X			XI			XII			I			II
	1.	11.	21.	1.	11.	21.	1.	11.	21.	1.	11.	21.	1.	11.	21.	1.
1920/21	13.8	13.2	13.1	12.8	11.6	9.5	8.3	7.9	6.4	6.0	4.8	3.6	3.0	2.5	2.0	0.3
1921/22	12.6	12.8	<i>11.6</i>	10.5	9.6	8.4	7.0	5.1	3.9	2.9	2.4	2.2	0.0	0.0	-0.1	-0.1
1922/23	14.1	12.9	<i>12.0</i>	11.6	10.6	8.1	6.9	5.8	4.0	3.0	2.5	<i>1.6</i>	1.8	1.4	1.3	-0.1
1923/24	11.0	10.6	10.8	10.8	<i>10.0</i>	9.0	8.5	<i>7.6</i>	6.7	4.4	<i>4.0</i>	3.7	<i>0.8</i>	-0.2	-0.3	-0.2
1924/25	13.2	<i>12.2</i>	11.2	11.2	11.0	9.7	9.2	7.5	6.4	5.8	5.2	4.5	<i>4.1</i>	3.8	2.6	1.9
1925/26	12.9	12.3	11.7	<i>10.2</i>	8.8	7.3	6.5	4.8	3.6	2.2	1.5	<i>0.8</i>	0.0	-0.2	-0.2	-0.2
1926/27	11.8	10.9	10.7	10.3	10.0	7.2	5.8	5.3	5.2	4.3	3.1	0.9	<i>0.8</i>	0.7	0.2	-0.3
1927/28	12.6	<i>12.0</i>	11.4	10.6	9.3	8.1	7.0	4.3	<i>3.8</i>	3.4	2.2	1.1	<i>0.3</i>	-0.1	-0.2	-0.2
1928/29	11.0	10.6	10.7	9.7	8.2	7.9	7.1	6.3	6.5	6.3	5.5	3.2	2.8	0.4	0.1	-0.3
1929/30	11.3	11.3	11.2	10.6	10.4	9.0	8.2	7.1	6.6	6.4	6.1	4.8	4.0	3.7	3.6	2.1
1930/31	13.6	12.4	11.8	11.4	9.5	9.4	8.7	7.9	5.5	4.6	2.8	3.1	1.5	0.6	-0.2	-0.2
1931/32	12.5	11.5	10.8	10.1	9.7	8.1	6.4	6.2	5.3	3.8	3.0	1.8	0.6	0.6	0.9	0.3
1932/33	11.6	11.6	11.0	10.2	9.3	8.5	6.8	6.5	5.3	5.1	4.1	3.8	3.5	2.2	0.3	0.6
1933/34	11.7	11.3	10.7	11.1	9.8	9.5	8.5	6.8	5.9	4.0	2.0	1.0	1.0	1.0	0.6	0.0
1934/35	14.8	14.1	14.2	13.0	12.6	10.6	9.7	9.1	7.2	5.2	5.1	5.2	4.0	2.1	1.6	0.6
1935/36	12.3	11.4	11.6	10.7	10.4	9.5	8.3	7.8	6.1	5.5	4.9	3.4	3.4	2.8	2.1	1.0
1936/37	12.0	12.6	12.1	9.5	9.2	7.8	7.1	6.7	6.0	5.3	4.4	3.5	3.2	3.0	1.0	0.4
1937/38	15.0	12.2	12.4	12.1	11.8	10.5	10.1	9.3	7.7	4.6	3.1	2.0	1.0	0.7	0.9	0.7
Mittel	12.7	12.0	11.6	10.9	10.1	8.8	7.8	6.8	5.7	4.6	3.7	2.8	2.0	1.4	0.9	0.4

Laufe des Herbstes allmählich stattfindende Wärmeabgabe des Schärenmeeres ziehen. Dabei nehmen wir an, dass die auf Grund der Beobachtungen bei Lohm und Jungfruskär berechnete mittlere Temperatur des Wassers für das ganze Gebiet repräsentativ ist, was wegen der schwankenden Tiefe des Schärenmeeres natürlich nicht der Fall ist. Da jedoch im Herbst das Wasser im grossen und ganzen isotherm ist, sind die Abweichungen, mit Ausnahme der seichten Küstengebiete, nicht sehr gross.

Nach WITTING¹⁾ beträgt das Volumen des Schärenmeeres etwa 195 km³. Bei der Benutzung dieses Wertes erhalten wir für den Wärmeinhalt dieses Meeresbeckens (in 10¹⁰ Tonkal. ausgedrückt) zu verschiedenen Monaten die folgende Zusammenstellung:

IX 1	X 1	XI 1	XII 1	I 1	II 1
240	213	152	90	35	6.

JURVA²⁾ hat auf Grund eines umfassenden Materials den Wärmeinhalt der verschiedenen Meeresgebiete Finnlands berechnet. Dabei hat er die Rechnungen derweise durchgeführt, dass er erst den Wärme-

¹⁾ WITTING, ROLF: Zusammenfassende Übersicht der Hydrographie des Bottnischen und Finnischen Meerbusens und der nördlichen Ostsee. Finl. Hydr.-Biol. Unters. N:o 7. Helsingfors 1912.

²⁾ JURVA, RISTO: Laskelmia meriemme lämpövarastosta. Suomi Merellä 12. Helsinki 1938.

inhalt für verschiedene Tiefengebiete bestimmt und das schliessliche Ergebnis durch Summierung erhalten hat. Die Resultate JURVAS lauten für das Schärenmeer (in 10^{12} Tonkal. ausgedrückt):

IX 1	X 1	XI 1	XII 1	I 1	II 1
2.2	1.8	1.4	0.8	0.3	0.1

Die Übereinstimmung mit unseren Werten ist gut. Die Abweichungen hängen davon ab, dass JURVA nur die Temperaturbeobachtungen bis zum Jahre 1928 benutzt hatte, während gerade in einigen der späteren Jahre die Wassertemperatur besonders hoch gewesen ist.

Die von uns berechneten Wärmesummen wurden dazu benutzt, um den mittleren täglichen Wärmeverlust des Schärenmeeres während der verschiedenen Herbst- und Vorwintermonate zu berechnen. Wir erhielten dabei folgende Werte (wieder in 10^{10} Tonkal. ausgedrückt):

IX	X	XI	XII	I
0.9	2.0	2.1	1.8	0.9.

Um berechnen zu können, welchen Einfluss diese Werte auf die Lufttemperatur im Schärenmeergebiet ausüben, bestimmen wir die mittlere Wärmekapazität der entsprechenden Luftmassen. Wir nehmen dabei an, dass die Höhe der an diesem Prozess teilnehmenden Atmosphäre 2 km beträgt und dass der mittlere Luftdruck 700 mm ist. Rechnen wir schliesslich mit einem Areal von $10 \cdot 10^3 \text{ km}^3$, welcher Wert etwa 20% grösser als der von WITTING gegebene ist, da wir auch die oberhalb der zahlreichen Inseln des Schärenmeeres befindliche Luft berücksichtigen, so erhalten wir, dass die gesuchte Wärmekapazität $0.6 \cdot 10^{10}$ Tonkal. beträgt. Die durch die Abkühlung des Schärenmeeres bedingte Zunahme der Lufttemperatur ist somit:

IX	X	XI	XII	I
1.5°	3.3°	3.5°	3.0°	1.5° .

Diese Zahlen veranschaulichen in vorzüglicher Weise, dass auch ein so seichtes Meeresgebiet wie das Schärenmeer (mittlere Tiefe 23 m) einen sehr vermildernden Einfluss auf das Klima ausübt.

6. Der allgemeine Gang der Abkühlung des Wassers. In Tab. 4 und 5 sind die Abweichungen der Werte der Tab. 2 und 3 vom vieljährigen Mittelwert wiedergegeben. Diese Tabellen liefern einen vorzüglichen orientierenden Überblick über den allgemeinen Ablauf der Abkühlung im Schärenmeer. Abgesehen von einer kleineren Anzahl Werte haben nämlich die Abweichungen gewöhnlich dasselbe Vorzeichen während einer längeren Zeit, bisweilen sogar während der ganzen zu untersuchenden Periode. So sind z. B. die Abweichungen

bei Jungfruskär im Jahre 1934/35 durchaus positiv, diejenigen in den Jahren 1926/27, 1927/28 und 1931/32 durchaus negativ. Auch bei Lohm haben die Abweichungen im grossen und ganzen denselben Charakter.

Aus Tab. 2 geht hervor, dass die Abkühlung zwar durchschnittlich schon von Anfang September an stattfindet, dass aber das Temperaturmaximum in den einzelnen Jahren bisweilen erst den 11. oder sogar den 21. September eintritt, wobei dieses Maximum ausserdem gewöhnlich zu den grössten vorliegenden Werten gehört. Eine nähere Durchmusterung des Untersuchungsmaterials ergibt, dass diese Erscheinung oft in denjenigen Jahren zu beobachten ist, die auch später während des Herbstes und Vorwinters eine hohe Temperatur aufweisen. Wir wollen hier auf diese Frage nicht näher eingehen, sondern beschränken uns darauf, auf die Jahre 1920/21 (sekundäres Maximum am 21. September), 1924/25, 1934/35 und 1937/38 hinzuweisen.

Das letzterwähnte Jahr ist jedoch auch in einer anderen Hinsicht beachtenswert. Wie aus Tab. 4 näher hervorgeht, weisen die Abweichungen der Wassertemperatur bei Lohm im November dieses Jahres sehr hohe positive Werte auf und werden in dieser Hinsicht nur vom Jahre 1934/35 übertroffen. Auch den 1. Dezember war der Temperaturüberschuss gross, indem er 1.4° betrug. Aber schon zehn Tage später, den 11. Dezember, hat sich das Bild gänzlich verändert. Die Abweichung ist jetzt negativ, nämlich -1.6° , was einer der kleinsten beobachteten Temperaturen zur betreffenden Zeit entspricht. Im Laufe von zehn Tagen hat somit die mittlere Temperatur der ganzen Wassersäule unter Einwirkung der herrschenden Kälte mit 4.1° abgenommen, während der durchschnittliche Wert zu dieser Zeit nur 1.1° beträgt, d. h. fast viermal kleiner ist. Auch bei Jungfruskär tritt diese starke Abkühlung deutlich hervor, obschon sie bei dieser weiter meerwärts gelegenen Station nicht gleich scharf ausgeprägt ist. Die hier scheinbar frühere Abkühlung beruht darauf, dass die sich auf den 1. Dezember beziehende Temperatur in der Tat ein paar Tage später gemessen wurde, so dass der Einfluss der herrschenden Kälte sich schon in diesem Wert stark geltend macht. In diesem Zusammenhang kann es angebracht sein zu erwähnen, dass die nächstgrösste Temperaturabnahme während zehn Tagen bei Lohm nach Tab. 2 nur 3.0° beträgt und dass eine Temperaturabnahme, die grösser als 2.0° ist, nur noch in neun Fällen zu beobachten ist. Im Dezember des Jahres 1937/38 handelt es sich somit um einen seltenen und extremen Fall¹⁾. Wir werden später auf diesen Fall zurückkommen und ihn im Zusammenhang mit der Lufttemperatur näher ermitteln.

¹⁾ Im Dezember 1938 kam jedoch auch eine sehr starke Temperaturabnahme vor, nämlich 4.9° , entsprechend einem Zeitraum von 15 Tagen.

Tab. 4. Die Abweichungen der Temperatur bei Lohm vom vieljährigen Mittelwert.

	IX			X			XI			XII			I			II I.
	1.	II.	21.													
1920/21	1.2	0.8	1.5	1.5	1.6	1.0	0.5	0.9	1.1	1.2	1.1	1.8	0.8	1.0	1.1	0.2
1921/22	0.8	0.3	0.1	0.1	-0.1	-0.2	-0.9	-1.5	-1.5	-1.3	-1.6	-1.2	-1.0	-0.9	-0.5	-0.4
1922/23	1.2	0.8	0.8	0.3	0.1	-0.1	-0.6	-0.9	-1.0	-1.0	-0.9	-1.8	-0.6	-0.3	-0.1	-0.2
1923/24	-0.4	-0.6	-0.2	0.1	0.3	0.4	0.7	0.4	0.3	-0.5	0.3	-0.7	-1.7	-1.3	-0.8	-0.4
1924/25	-1.1	1.5	0.7	-0.6	1.3	1.7	1.8	1.2	1.4	2.0	1.5	2.1	2.6	2.7	2.4	2.0
1925/26	0.2	-0.3	-0.2	0.0	-1.3	-1.5	-1.7	-2.5	-2.0	-3.3	-2.7	-2.0	-1.7	-1.4	-0.8	-0.6
1926/27	-2.0	-2.4	-1.8	-1.7	0.5	-1.0	-2.2	-1.8	-0.7	-0.7	-0.3	-0.9	-1.4	-1.1	-0.8	-0.6
1927/28	-0.4	0.2	-0.8	0.0	-0.8	-0.3	-0.7	-1.1	-1.7	-1.6	-1.6	-2.0	-1.9	-1.5	-0.9	-0.3
1928/29	-3.1	-1.4	-1.0	-1.3	-1.7	-1.5	-0.3	-0.7	0.5	1.3	1.2	0.5	0.2	0.1	-0.7	-0.6
1929/30	-1.8	-2.2	0.2	0.1	-0.3	-0.4	0.3	0.2	0.9	1.3	2.2	1.7	2.0	2.4	2.6	1.3
1930/31	0.6	-0.1	0.2	0.2	-1.0	0.2	0.9	0.9	-0.1	0.6	0.3	-0.1	-1.1	-1.1	-0.7	-0.4
1931/32	0.0	-1.3	-1.2	-0.9	-0.3	-0.3	-1.3	-0.3	-0.4	-0.9	-0.5	-0.2	-1.2	-0.9	0.3	-0.2
1932/33	-0.2	-0.8	-0.7	-0.4	-0.9	-0.4	-0.8	-0.7	-0.1	0.5	0.8	1.7	1.8	1.6	-0.4	-0.1
1933/34	1.1	0.1	0.0	0.5	0.2	0.4	0.0	0.5	-0.7	-0.3	-0.7	-0.6	-0.5	-0.5	-0.4	-0.2
1934/35	1.9	1.6	2.3	2.2	3.2	2.2	2.1	2.3	2.3	1.4	1.8	2.2	1.7	-0.1	0.4	-0.2
1935/36	0.0	0.1	0.6	0.3	0.5	0.6	0.7	0.7	-0.3	0.0	0.7	0.7	1.3	0.7	0.9	0.1
1936/37	0.0	0.1	-0.2	-1.3	-1.3	-1.4	-0.7	-0.2	-0.1	0.3	0.9	1.4	1.6	1.6	-0.4	-0.1
1937/38	1.2	3.0	0.3	0.7	0.4	1.4	2.0	2.3	1.6	1.4	-1.6	-2.0	-1.4	-1.0	-0.5	-0.2

Tab. 5. Die Abweichungen der Temperatur bei Jungfruskär vom vieljährigen Mittelwert.

	IX			X			XI			XII			I			II I.
	1.	II.	21.													
1920/21	1.1	1.2	1.5	1.9	1.5	0.7	0.5	1.1	0.7	1.4	1.1	0.8	1.0	1.1	1.1	-0.1
1921/22	-0.1	0.8	0.0	-0.4	-0.5	-0.4	-0.8	-1.7	-1.8	-1.7	-1.3	-0.6	-2.0	-1.4	-1.0	-0.5
1922/23	1.4	0.9	0.4	0.7	0.5	-0.7	-0.9	-1.0	-1.7	-1.6	-1.2	-1.2	-0.2	0.0	0.4	-0.5
1923/24	-1.7	-1.4	-0.8	-0.1	-0.1	0.2	0.7	0.8	1.0	-0.2	0.3	0.9	-1.2	-1.6	-1.2	-0.6
1924/25	0.5	0.2	-0.4	0.3	0.9	0.9	1.4	0.7	0.7	1.2	1.5	1.7	2.1	2.4	1.7	1.5
1925/26	0.2	0.3	0.1	-0.7	-1.3	-1.5	-1.3	-2.0	-2.1	-2.4	-2.2	-2.0	-2.0	-1.6	-1.1	-0.6
1926/27	-0.9	-1.1	-0.9	-0.6	-0.1	-1.6	-2.0	-1.5	-0.5	-0.3	-0.6	-1.9	-1.2	-0.7	-0.7	-0.7
1927/28	-0.1	0.0	-0.2	-0.3	-0.8	-0.7	-0.8	-2.5	-1.9	-1.2	-1.5	-1.7	-1.7	-1.5	-1.1	-0.6
1928/29	-1.7	-1.4	-0.9	-1.2	-1.9	-0.9	-0.7	-0.5	0.8	1.7	1.8	0.4	0.8	-1.0	-0.8	-0.7
1929/30	-1.4	-0.7	-0.4	-0.3	0.3	0.2	0.4	0.3	0.9	1.8	2.4	2.0	2.0	2.3	2.7	1.7
1930/31	0.9	0.4	0.2	0.5	-0.6	0.6	0.9	1.1	-0.2	0.0	-0.9	0.3	-0.5	-0.8	-1.1	-0.6
1931/32	-0.2	-0.5	-0.8	-0.8	-0.4	-0.7	-1.4	-0.6	-0.4	-0.8	-0.7	-1.0	-1.4	-0.8	0.0	-0.1
1932/33	-1.1	-0.4	-0.6	-0.7	-0.8	-0.3	-1.0	-0.3	-0.4	0.5	0.4	1.0	1.5	0.8	-0.6	0.2
1933/34	-1.0	-0.7	-0.9	0.2	-0.3	0.7	0.7	0.0	0.2	-0.6	-1.7	-1.8	-1.0	-0.4	-0.3	-0.4
1934/35	2.1	2.1	2.6	2.1	2.5	1.8	1.9	2.3	1.5	0.6	1.4	2.4	2.0	0.7	0.7	0.2
1935/36	-0.4	-0.6	0.0	-0.2	0.3	0.7	0.5	1.0	0.4	0.9	1.2	0.6	1.4	1.4	1.2	0.6
1936/37	-0.7	0.6	0.5	-1.4	-0.9	-1.0	-0.7	-0.1	0.3	0.7	0.7	0.7	1.2	1.6	0.1	0.0
1937/38	2.3	0.2	0.8	1.2	1.7	1.7	2.3	2.5	2.0	0.0	-0.6	-0.8	-1.0	-0.7	0.0	0.3

7. **Korrelationskoeffizienten für die einzelnen Beobachtungstermine.** Da es von Interesse sein kann, einen numerischen Zusammenhang zwischen den sich auf verschiedene Beobachtungstage beziehenden Temperaturwerten zu erhalten, haben wir eine Anzahl Korrelationsberechnungen ausgeführt. Zwar ist die Zahl der zu unserer Verfügung stehenden Beobachtungsjahre (18) zu klein, um ein in jeder Hinsicht einwandfreies Ergebnis zu liefern. Nach den Berechnungen von JOHANSSON¹⁾ sind wir jedoch auch in unserem Fall berechtigt, damit zu rechnen, dass ein sicherer Zusammenhang zwischen zwei Reihen besteht, sobald der Korrelationskoeffizient 0.60 beträgt. Dagegen gestatten uns die Korrelationsberechnungen keine Schlussfolgerungen über die Art dieses Zusammenhanges zu ziehen. Die erhaltenen Korrelationskoeffizienten sind für Lohm in Tab. 6 und für Jungfruskär in Tab. 7 zusammengestellt.

Eine nähere Durchmusterung der beiden Tabellen ist in mancher Hinsicht sehr aufschlussreich. Erstens muss bestätigt werden, dass wir nach den Tabellen nur für eine Zeitdifferenz von einem Monat eine sichere Korrelation zwischen zwei verschiedenen Beobachtungsreihen haben, denn schon für einen Zeitunterschied von 40 Tagen ist der mittlere Korrelationskoeffizient 0.58 für Lohm und 0.56 für Jungfruskär. In diesem Zusammenhang wollen wir jedoch noch einmal betonen, dass auch andere Prozesse als die direkte Abkühlung die Temperaturwerte beeinflussen, wodurch das Ergebnis scheinbar weniger befriedigend werden kann. Mit Rücksicht auf diese Tatsache ist man berechtigt, den Korrelationskoeffizienten mit ein paar Hundertteilen zu vergrössern. Die durch verschiedene störende mehr oder weniger zufällige Einflüsse verursachten Temperaturveränderungen kommen an mehreren Stellen in den Tabellen deutlich zum Vorschein. Wir können nämlich beobachten, dass der Korrelationskoeffizient für zwei Beobachtungsreihen, deren Zeitunterschied n Tage beträgt, bisweilen kleiner ist als für den Fall, wo die zweite Reihe 10 Tage später gewählt wird. Die schlechte Übereinstimmung für die Zeitdifferenz von n Tagen kann dagegen oft für ein 10 Tage früher einfallendes Datum der folgenden Zeile beobachtet werden. Wir beschränken uns hier darauf, auf die sich auf den Zeitunterschied von 20 bzw. 30 Tagen beziehenden Korrelationskoeffizienten für den 21. bzw. 11. September und für den 11. bzw. 1. Oktober der Tab. 6 hinzuweisen. In derselben Weise geht der verhältnismässig kleine Korrelationskoeffizient für die Beobach-

¹⁾ JOHANSSON, OSC. V.: Smärre förenklingar vid korrelationsberäkning jämte tillämpning på några meteorologiska exempel. Öfversigt af Finska Vetensk.-Societ. Förh. Bd. LVIII. Afd. A N:o 29. Helsingfors 1916.

tergebnisse des 1. und des 11. Dezembers in Tab. 6, welcher auf der früher auseinandergesetzten starken Temperaturabnahme im Jahre 1937 beruht, in den folgenden Zeilen für ein je 10 Tage früher eintretendes Datum deutlich hervor, d. h. für den 21., 11. und 1. November bzw. 21. Oktober. Für den Zeitunterschied von 60 Tagen wird dagegen dieser störende Einfluss fast vollständig verwischt. Weiter ersehen wir aus den beiden Tabellen, dass bis zu einer Zeitdifferenz von etwa 80 Tagen der mittlere Korrelationskoeffizient mit wachsender Anzahl der dazwischen fallenden Dekaden ziemlich stetig abnimmt, dass aber für noch grössere Zeitunterschiede die entsprechenden Korrelationskoeffizienten unregelmässig werden. Etwa gleichzeitig treten auch negative Werte in den einzelnen Fällen auf. Auf Grund des oben Gesagten können wir den Schluss ziehen, dass im Schärenmeergebiet die Wassertemperatur mit grösserer Wahrscheinlichkeit für höchstens 40 Tage im voraus bestimmt werden kann, obschon für einen etwa zweimal so langen Zeitunterschied ein gewisser Zusammenhang zwischen zwei Beobachtungsreihen zu spüren ist.

8. Korrelationskoeffizienten für Monatsmittelwerte. Das obige Ergebnis wird auch durch Tab. 8 bestätigt. In dieser Tabelle wird der Einfluss der störenden Faktoren gewissermassen ausgeglichen, da sie auf der mittleren Temperatur der ganzen Wassersäule für die drei im Laufe eines Monats gemachten Beobachtungsreihen beruht, und zwar als Mittelwert der Ergebnisse für Lohm und Jungfruskär. Aus der Tabelle geht hervor, dass zwischen zwei aufeinanderfolgenden Monaten eine deutliche Korrelation besteht, dass aber schon für einen Zeitunterschied von zwei Monaten der betreffende Zusammenhang unsicher wird.

Tab. 8. Die Korrelationskoeffizienten für die mittlere Monatstemperatur der ganzen Wassersäule.

	IX	X	XI	XII	I	Mittel
1 Monat später	0.79	0.78	0.66	0.84	0.84	0.78
2 Monate »	0.50	0.36	0.45	0.54	—	0.46
3 » »	0.18	0.35	0.49	—	—	0.34
4 » »	0.05	0.40	—	—	—	0.22
5 » »	0.14	—	—	—	—	0.14

Da die Wassertemperatur einer der die Eisbildung bestimmenden Faktoren ist, liegt es nahe einen Zusammenhang zwischen der Temperatur und dem Zeitpunkt für das Eintreten der Eisbildung zu suchen

Hierbei stossen wir jedoch auf eine Schwierigkeit, da es keineswegs eine eindeutige Aufgabe ist, den letzteren zu bestimmen. Die erste Eisbildung ist nämlich gewöhnlich eine Erscheinung ganz zufälliger Natur, die nur die seichten Küstengewässer umfasst, und das in dieser Weise gebildete Eis verschwindet oft binnen kurzem. Wir haben deshalb auf die Lösung der betreffenden Frage verzichtet und anstatt ihrer ein verwandtes Problem in Angriff genommen, d. h. die Bestimmung der Korrelation für die mittlere Wassertemperatur zu verschiedenen Monaten und das Datum, wo diese Temperatur 0° erreicht. Ein näherer Vergleich der mittleren Temperaturen mit den zur Verfügung stehenden Eisdickezahlen für Jungfruskär hat nämlich ergeben, dass etwa gleichzeitig mit der Abkühlung der ganzen Wassersäule bis auf 0° das Eis eine grössere Dicke (durchschnittlich 20 cm) erreicht und dass ungefähr von dieser Zeit an die ersten Meldungen über die Eisdicke entstammen. Da in zwei der untersuchten Jahre, nämlich 1924/25 und 1929/30, die Temperatur der Wassersäule nicht bis zum Nullpunkt sank, haben wir für die folgenden Berechnungen den fraglichen Zeitpunkt auf Grund der Angaben über die Eisdicke bestimmt. Die Korrelationskoeffizienten für die mittlere Temperatur der verschiedenen Monate und für den Zeitpunkt der Abkühlung des Wassers bis auf 0° gehen aus der folgenden Zusammenstellung hervor:

IX	X	XI	XII	I
0.20	0.46	0.63	0.75	0.84.

Wir beobachten somit, dass man erst Ende November gewisse Schlussfolgerungen über die Abkühlung der ganzen Wassersäule bis auf 0° ziehen kann. Es sei jedoch betont, dass das Untersuchungsmaterial viel zu mangelhaft ist, um ein allgemeingültiges Ergebnis zu gestatten.

9. Der Einfluss der Lufttemperatur auf die Abkühlung des Wassers.

Aus dem oben Gesagten geht somit hervor, dass die Wassertemperatur eine recht grosse »Trägheit« besitzt, dass aber der Abkühlungsprozess auch von anderen Tatsachen in hohem Mass beeinflusst wird. Unter diesen muss natürlich an erster Stelle die Lufttemperatur erwähnt werden. Um einen Zusammenhang zwischen der Abkühlung des Wassers und der Lufttemperatur zu erhalten, haben wir die mittlere Lufttemperatur in Mariehamn ($60^{\circ} 06' N$, $19^{\circ} 57' E$) für die verschiedenen Dekaden der Monate September bis Januar in den Jahren 1920/21 bis 1937/38 berechnet¹⁾. Diese Mittelwerte beziehen sich auf die um 21

¹⁾ Die Lufttemperaturwerte sind den Jahrbüchern der Meteorologischen Zentralanstalt in Finnland entnommen.

Uhr gemachten Beobachtungen, die ja bekanntlich der mittleren aus drei Beobachtungen berechneten Temperatur des Tages durchschnittlich am besten entsprechen.

Es ist selbstverständlich, dass nicht der absolute Betrag der Lufttemperatur, sondern der Unterschied zwischen der Wasser- und der Lufttemperatur ein Mass für die Abkühlung des Wassers bildet. Eine nähere Untersuchung hat ergeben, dass diese Abkühlung im Laufe von zehn Tagen bei Lohm und Jungfruskär (Grundtiefe 40—50 m) ein Viertel der Differenz zwischen der Wassertemperatur an einem bestimmten Tag und der mittleren Lufttemperatur bei Mariehamn während der folgenden Dekade beträgt. Um eine Vorstellung von der Gültigkeit der obigen Regel zu geben, haben wir unter Benutzung derselben von der Wassertemperatur am 1. September ausgehend die sukzessiven Werte bis zum 1. Februar, oder falls die Eisbildungstemperatur früher eintrat, bis zu diesem Datum berechnet. Im betreffenden Fall, wo der Salzgehalt zwischen den Grenzen 6.0—6.5 % schwankt, liegt der Gefrierpunkt bei etwa -0.3° und sobald dieser Wert erreicht wird, versagt selbstverständlich die obige Regel. Die Ergebnisse sind in Tab. 9 wiedergegeben. In dieser Tabelle finden wir ausserdem die Mittelwerte der entsprechenden beobachteten Temperaturen bei Lohm und Jungfruskär, die mittlere Lufttemperatur für Mariehamn während der folgenden Dekade sowie die Differenzen zwischen der beobachteten und der berechneten Wassertemperatur.

Tab. 9. Beobachtete mittlere Wassertemperatur, mittlere Lufttemperatur während der folgenden Dekade (kursiv gedruckt), berechnete mittlere Wassertemperatur und die Differenzen der Wassertemperaturen.

		IX			X			XI			XII			I			II
		1.	11.	21.	1.	11.	21.	1.	11.	21.	1.	11.	21.	1.	11.	21.	1.
1920/21	Beobachtet ..	13.4	12.9	13.0	12.6	11.6	9.8	8.4	7.8	6.6	5.8	4.6	3.9	2.8	2.3	1.8	0.4
	Lufttemp. ...	<i>6.7</i>	<i>4.8</i>	<i>4.7</i>	<i>4.2</i>	<i>3.8</i>	<i>2.1</i>	<i>-0.6</i>	<i>-0.2</i>	<i>-0.2</i>	<i>1.0</i>	<i>-1.3</i>	<i>-2.8</i>	—	—	—	—
	Berechnet ..	über Lufttempe-	12.6	11.1	9.5	8.3	7.3	6.4	5.3	3.8	2.8	2.1	1.8	1.0	0.1	0.1	0.1
	Differenz	ratur fehlen	—	0.5	0.3	0.1	0.5	0.2	0.5	0.8	1.1	0.7	0.5	0.8	0.3	0.3	0.3
1921/22	Beobachtet ..	12.6	12.4	11.6	10.8	9.8	8.6	7.0	5.2	4.0	3.0	2.1	1.7	0.4	0.1	0.0	-0.2
	Lufttemp. ...	<i>11.1</i>	<i>8.9</i>	<i>8.6</i>	<i>7.1</i>	<i>6.7</i>	<i>2.6</i>	<i>-1.9</i>	<i>0.8</i>	<i>-0.6</i>	<i>-1.2</i>	<i>0.9</i>	<i>-1.3</i>	<i>-3.3</i>	<i>-7.1</i>	<i>-6.0</i>	—
	Berechnet ..	12.6	12.2	11.4	10.7	9.8	9.0	7.4	5.1	4.0	2.9	1.9	1.6	0.9	-0.1	—	—
	Differenz	—	0.2	0.2	0.1	0.0	-0.4	-0.4	0.1	0.0	0.1	0.2	0.1	-0.5	0.2	—	—
1922/23	Beobachtet ..	13.6	12.8	12.2	11.4	10.4	8.5	7.1	5.9	4.4	3.2	2.5	1.2	1.4	1.1	0.8	0.0
	Lufttemp. ...	<i>11.0</i>	<i>11.7</i>	<i>6.4</i>	<i>5.8</i>	<i>6.3</i>	<i>-1.5</i>	<i>2.3</i>	<i>2.7</i>	<i>-1.8</i>	<i>-3.3</i>	<i>-0.9</i>	<i>1.5</i>	<i>1.7</i>	<i>-0.8</i>	<i>-1.6</i>	—
	Berechnet ..	13.6	12.9	12.6	11.1	9.8	8.9	6.3	5.3	4.6	3.0	1.4	0.8	1.0	1.2	0.7	0.1
	Differenz	—	-0.1	-0.4	0.3	0.6	-0.4	0.8	0.6	-0.2	0.2	1.1	0.4	0.4	-0.1	0.1	-0.1

		IX			X			XI			XII			I			II 1.
		1.	11.	21.	1.	11.	21.	1.	11.	21.	1.	11.	21.	1.	11.	21.	
1923/24	Beobachtet ..	11.2	10.9	11.0	10.9	10.2	9.2	8.6	7.4	6.4	4.2	3.8	2.7	0.4	-0.2	-0.3	-0.2
	Lufttemp. ...	10.4	11.0	9.7	6.6	6.8	5.9	4.0	4.4	-3.2	0.4	0.4	-7.2	-6.3	0.0	-5.5	—
	Berechnet ..	11.2	11.0	11.0	10.7	9.7	9.0	8.2	7.2	6.5	4.1	3.2	2.5	0.1	—	—	—
	Differenz	—	-0.1	0.0	0.2	0.5	0.2	0.4	0.2	-0.1	0.1	0.6	0.2	0.3	—	—	—
1924/25	Beobachtet ..	12.0	12.8	11.7	10.8	11.2	10.2	9.4	7.8	6.8	6.2	5.0	4.5	4.2	3.8	2.8	2.0
	Lufttemp. ...	13.1	12.2	9.6	10.6	7.2	5.0	3.3	1.3	3.8	0.1	3.8	3.7	1.8	2.5	-1.2	—
	Berechnet ..	12.0	12.3	12.3	11.6	11.3	10.3	9.0	7.6	6.0	5.5	4.2	4.1	4.0	3.5	3.2	2.1
	Differenz	—	0.5	-0.6	-0.8	-0.1	-0.1	0.4	0.2	0.8	0.7	0.8	0.4	0.2	0.3	-0.4	-0.1
1925/26	Beobachtet ..	12.5	11.9	11.5	10.6	8.8	7.4	6.4	4.6	3.6	1.7	1.1	0.6	0.0	-0.2	-0.2	-0.3
	Lufttemp. ...	10.2	8.3	10.0	6.4	-0.6	5.2	-0.6	1.4	-3.8	-2.9	-6.5	-1.5	-4.1	-6.4	-6.4	—
	Berechnet ..	12.5	11.9	11.0	10.7	9.6	7.1	6.6	4.8	3.9	2.0	0.8	—	—	—	—	—
	Differenz	—	0.0	0.5	-0.1	-0.8	0.3	-0.2	-0.2	-0.3	-0.3	0.3	—	—	—	—	—
1926/27	Beobachtet ..	10.8	10.2	10.2	9.8	9.8	7.6	5.8	5.2	5.1	4.0	3.1	1.2	0.6	0.4	0.0	-0.4
	Lufttemp. ...	10.2	8.3	9.4	8.1	1.0	-0.4	2.7	4.9	2.1	0.0	-2.5	-3.8	-1.8	-2.9	-0.8	—
	Berechnet ..	10.8	10.6	10.0	9.8	9.4	7.3	5.4	4.7	4.8	4.1	3.1	1.7	0.3	-0.2	—	—
	Differenz	—	-0.4	0.2	0.0	0.4	0.3	0.4	0.5	0.3	-0.1	0.0	-0.5	0.3	0.6	—	—
1927/28	Beobachtet ..	12.0	12.0	11.0	10.8	9.3	8.4	7.1	5.0	3.9	3.2	2.0	0.8	0.0	-0.2	-0.3	-0.2
	Lufttemp. ...	12.7	7.8	9.6	7.8	3.8	3.1	1.8	-3.0	0.7	-1.5	-7.1	-5.9	-2.9	-6.0	-0.9	—
	Berechnet ..	12.0	12.2	11.1	10.7	10.0	8.4	7.1	5.8	3.6	2.9	1.8	—	—	—	—	—
	Differenz	—	-0.2	-0.1	0.1	-0.7	0.0	0.0	-0.8	0.3	0.3	0.2	—	—	—	—	—
1928/29	Beobachtet ..	9.9	10.5	10.6	9.6	8.3	7.7	7.4	6.2	6.4	6.0	5.0	3.0	2.4	0.8	0.0	-0.4
	Lufttemp. ...	11.6	11.9	6.0	5.4	3.2	7.9	-0.2	5.0	4.6	1.6	-2.7	-0.9	-4.7	-4.6	-3.4	—
	Berechnet ..	9.9	10.3	10.7	9.5	8.5	7.2	7.4	5.5	5.4	5.2	4.3	2.6	1.7	0.1	—	—
	Differenz	—	0.2	-0.1	0.1	-0.2	0.5	0.0	0.7	1.0	0.8	0.7	0.4	0.7	0.7	—	—
1929/30	Beobachtet ..	10.7	10.4	11.4	10.8	10.1	8.8	8.2	7.1	6.6	6.1	5.8	4.4	3.8	3.6	3.4	1.8
	Lufttemp. ...	9.5	11.4	9.2	9.3	5.6	6.7	3.9	3.8	5.0	5.1	3.6	2.5	4.1	3.6	0.0	—
	Berechnet ..	10.7	10.4	10.7	10.3	10.1	9.0	8.4	7.3	6.4	6.0	5.8	5.2	4.5	4.4	4.2	3.1
	Differenz	—	0.0	0.7	0.5	0.0	-0.2	-0.2	-0.2	0.2	0.1	0.0	-0.8	-0.7	-0.8	-0.8	-1.3
1930/31	Beobachtet ..	13.0	12.0	11.8	11.2	9.3	9.3	8.8	7.8	5.6	4.8	3.2	2.7	1.0	0.3	-0.2	-0.2
	Lufttemp. ...	8.0	8.2	8.8	5.0	8.8	7.8	5.3	-0.4	2.9	3.5	-0.5	-0.9	-4.0	-3.9	-3.2	—
	Berechnet ..	13.0	11.8	10.9	10.4	9.1	9.0	8.7	7.8	5.7	5.0	4.6	3.3	2.2	0.6	—	—
	Differenz	—	-0.2	0.9	0.8	0.2	0.3	0.1	0.0	-0.1	-0.2	-1.4	-0.6	-1.2	-0.3	—	—
1931/32	Beobachtet ..	12.2	11.0	10.6	10.0	9.8	8.4	6.5	6.4	5.3	3.7	3.0	2.0	0.6	0.4	0.8	0.2
	Lufttemp. ...	8.2	7.7	5.1	8.9	6.3	0.5	5.4	3.9	1.5	0.6	-0.3	-3.9	-1.8	3.0	3.3	—
	Berechnet ..	12.2	11.2	10.3	9.0	9.0	8.3	6.4	6.1	5.5	4.5	3.5	2.5	0.9	0.2	0.9	1.5
	Differenz	—	-0.2	0.3	1.0	0.8	0.1	0.1	0.3	-0.2	-0.8	-0.5	-0.5	-0.3	0.2	-0.1	-1.3
1932/33	Beobachtet ..	11.6	11.3	10.9	10.4	9.2	8.6	7.0	6.4	5.4	5.0	4.2	4.0	3.5	2.4	0.2	0.4
	Lufttemp. ...	13.4	9.8	8.4	5.2	6.0	1.9	3.9	0.7	3.8	1.9	3.3	2.5	2.6	-4.4	-3.7	—
	Berechnet ..	11.6	12.0	11.4	10.6	9.3	8.5	6.9	6.2	4.8	4.6	3.9	3.8	3.5	3.3	1.4	0.1
	Differenz	—	-0.7	-0.5	-0.2	-0.1	0.1	0.1	0.2	0.6	0.4	0.3	0.2	0.0	-0.9	-1.2	0.3
1933/34	Beobachtet ..	12.4	11.6	11.1	11.2	10.0	9.4	8.2	7.1	5.4	4.1	2.4	1.4	1.1	0.8	0.4	0.0
	Lufttemp. ...	11.4	9.1	10.7	6.9	7.7	6.1	3.9	-0.2	-0.1	-0.7	-4.6	-2.7	0.6	1.1	0.9	—
	Berechnet ..	12.4	12.1	11.3	11.2	10.1	9.5	8.6	7.4	5.5	4.1	2.9	1.0	0.1	0.2	0.4	0.5
	Differenz	—	-0.5	-0.2	0.0	-0.1	-0.1	-0.4	-0.3	-0.1	0.0	-0.5	0.4	1.0	0.6	0.0	-0.5
1934/35	Beobachtet ..	14.3	13.8	14.0	13.0	13.0	10.9	9.8	9.2	7.6	5.6	5.2	4.9	3.7	1.6	1.2	0.3
	Lufttemp. ...	15.3	13.6	12.3	10.8	5.8	8.2	5.6	3.5	3.5	4.2	3.8	0.0	-3.0	-1.0	-2.7	—
	Berechnet ..	14.3	14.5	14.3	13.8	13.0	11.2	10.4	9.2	7.8	6.7	6.1	5.5	4.1	2.3	1.5	0.4
	Differenz	—	-0.7	-0.3	-0.8	0.0	-0.3	-0.6	0.0	-0.2	-1.1	-0.9	-0.6	-0.4	-0.7	-0.3	-0.1
1935/36	Beobachtet ..	12.1	11.6	11.8	11.0	10.5	9.6	8.4	7.7	5.8	5.0	4.5	3.2	3.2	2.3	1.8	0.6
	Lufttemp. ...	12.2	10.9	8.4	10.2	8.9	3.0	6.2	5.7	2.5	1.8	0.0	1.2	0.0	-1.4	-2.0	—
	Berechnet ..	12.1	12.1	11.8	11.0	10.8	10.3	8.5	7.9	7.3	6.1	5.0	3.7	3.1	2.3	1.4	0.6
	Differenz	—	-0.5	0.0	0.0	-0.3	-0.7	-0.1	-0.2	-1.5	-1.1	-0.5	-0.5	0.1	0.0	0.4	0.0

		IX			X			XI			XII			I			II 1.
		1.	11.	21.	1.	11.	21.	1.	11.	21.	1.	11.	21.	1.	11.	21.	
1936/37	Beobachtet ..	12.0	12.2	11.7	9.6	9.0	7.7	7.2	6.7	5.8	5.0	4.4	3.6	3.2	2.8	0.6	0.2
	Lufttemp. ...	<i>10.8</i>	<i>9.8</i>	<i>6.4</i>	<i>2.1</i>	<i>3.7</i>	<i>4.9</i>	<i>5.0</i>	<i>3.8</i>	<i>2.1</i>	<i>2.3</i>	<i>4.7</i>	<i>3.0</i>	<i>2.4</i>	<i>-1.2</i>	<i>-6.5</i>	—
	Berechnet ..	12.0	11.7	11.2	10.0	8.0	6.9	6.4	6.1	5.5	4.7	4.1	4.2	3.9	3.5	2.3	0.1
	Differenz	—	0.5	0.5	-0.4	1.0	0.8	0.8	0.6	0.3	0.3	0.3	-0.6	-0.7	-0.7	-1.7	0.1
1937/38	Beobachtet ..	14.0	13.5	12.1	11.8	11.2	10.4	10.0	9.2	7.5	5.2	2.4	1.2	0.6	0.4	0.4	0.4
	Lufttemp. ...	<i>13.8</i>	<i>11.8</i>	<i>10.1</i>	<i>6.2</i>	<i>5.7</i>	<i>9.1</i>	<i>6.6</i>	<i>1.9</i>	<i>1.5</i>	<i>-6.1</i>	<i>-3.0</i>	<i>-1.0</i>	<i>-5.9</i>	<i>-0.2</i>	<i>1.3</i>	—
	Berechnet ..	14.0	13.9	13.4	12.6	11.0	9.7	9.6	8.9	7.1	5.7	2.7	1.3	0.7	—	—	—
	Differenz	—	-0.4	-1.3	-0.8	0.2	0.7	0.4	0.3	0.4	-0.5	-0.3	-0.1	-0.1	—	—	—
Mittel	Beobachtet ..	12.3	11.9	11.6	10.9	10.1	8.9	7.8	6.8	5.7	4.6	3.6	2.6	1.8	1.2	0.7	0.3
	Lufttemp. ...	<i>11.3</i>	<i>10.1</i>	<i>8.8</i>	<i>7.2</i>	<i>5.4</i>	<i>4.5</i>	<i>3.4</i>	<i>2.4</i>	<i>1.5</i>	<i>0.3</i>	<i>-0.4</i>	<i>-0.8</i>	<i>-1.3</i>	<i>-1.7</i>	<i>-2.3</i>	—
	Berechnet ..	12.3	12.1	11.6	10.9	10.0	8.9	7.8	6.7	5.6	4.6	3.5	2.5	1.7	1.0	0.3	—
	Differenz	—	-0.2	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.1	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1	0.2	0.4	—

Aus dieser Tabelle ersehen wir, dass die Übereinstimmung zwischen den beobachteten und den berechneten Werten im grossen und ganzen befriedigend ist, besonders wenn wir bedenken, dass die mittlere Lufttemperatur in verschiedener Weise entstehen kann und dass ihre Wirkungen ohne Zweifel verschieden sind, falls es sich um eine die ganze Dekade hindurch ungefähr konstante Temperatur handelt oder falls die Schwankungen gross sind. Auch kann es von Bedeutung sein, ob die kältere Periode am Anfang oder am Ende der Dekade eintritt. Weiter haben wir nicht berücksichtigt, dass der Zeitunterschied in drei Fällen 11 Tage ist. Die grösste numerische Differenz in Tab. 9 beträgt 1.7° , was für die Zeit Oktober 11. bis Januar 1. einer Zeitverschiebung von etwa einem halben Monat entspricht. Die meisten Abweichungen sind jedoch verhältnismässig klein, indem sie in 72% der Fälle höchstens 0.5° betragen und in 93% kleiner als 1.0° sind. Was die grösseren positiven Differenzen anbetrifft, so geht aus Tab. 9 hervor, dass sie oft das Schlussresultat einer Dekade sind, wo die mittlere Lufttemperatur negativ gewesen ist. Wir können deswegen annehmen, dass diese oft plötzlich eintretende Kälte eine Eisbildung an der Oberfläche zu Folge hatte. Das entstandene Eis bildete dabei einen Schutz gegen die Abkühlung und die wirkliche Wassertemperatur muss deshalb höher als die berechnete sein. Wie wir aus der Tabelle ersehen können, sind die Wirkungen einer solchen Kälteperiode in den Jahren 1920, 1922 und 1928 in hohem Mass ausgeprägt. Der störende Faktor macht sich natürlich auch bei den folgenden Temperaturwerten geltend, gleicht sich aber allmählich aus, da ja bei kleineren Temperaturdifferenzen auch die berechnete Abkühlung kleiner wird. Hinsichtlich der grossen negativen Abweichungen ist es schwieriger eine mehr oder weniger allgemeingültige Erklärung dieser Erscheinung zu geben. In einigen

Fällen können wir sie jedoch in Zusammenhang mit verschiedenen meteorologischen Faktoren bringen, wie starker Wind, Verdunstung, Ausstrahlung und gewissermassen auch Schneefall. Schliesslich sei betont, dass der früher erwähnte aussergewöhnlich starke Temperaturfall im Jahre 1937 sich auf Grund unserer Regel ziemlich gut rechnerisch wiedergeben lässt. Die anfangs Dezember herrschende Lufttemperatur war nämlich mehr als 6° niedriger als im Mittel.

Schliesslich wollen wir auf Grund der obigen Regel berechnen, wie zeitig das Wasser im Schärenmeer bei den Tiefenmessungsstellen der betreffenden Stationen bis zum Gefrierpunkt abgekühlt werden kann. Wir gehen dabei von der kleinsten den 1. September gemessenen mittleren Wassertemperatur, 9.9°, aus und nehmen an, dass während der folgenden Dekade die Lufttemperatur den kleinsten im Laufe der 18 Jahre beobachteten Wert hatte. Die in dieser Weise berechneten Werte sind in Tab. 10 zusammengestellt.

Tab. 10. Die kleinste auf Grund der Abkühlungsregel berechnete Wassertemperatur bei Lohm und Jungfruskär.

	IX			X			XI			XII
	1.	11.	21.	1.	11.	21.	1.	11.	21.	1.
Wassertemperatur	9.9	9.4	9.0	8.0	6.5	4.7	3.1	1.9	0.7	-0.4
Lufttemperatur	8.0	7.7	5.1	2.1	-0.6	-1.5	-1.9	-3.0	-3.8	—

Wir beobachten, dass nach dieser Tabelle die vollständige Abkühlung der Wassersäule schon um die Monatswende November—Dezember eintritt, während nach den sich auf tatsächliche Beobachtungen gründenden Untersuchungen von JURVA¹⁾ eine bedeutende Eisbildung bei Lohm in sehr frühen Eiswintern, wie zu erwarten ist, erst später, d. h. den 14. Dezember stattfindet, in ausserordentlich frühen Eiswintern dagegen schon etwa zwei Wochen früher. Nach Tab. 9 wurde die Wassersäule am frühesten den 1. Januar bis auf 0° abgekühlt.

1939 I.

¹⁾ JURVA, loc. cit.

