

DER WASSERSTAND IN DER OSTSEE ALS INDIKATOR DER STRENGE DES WINTERS

VON

EUGENIE LISITZIN

Institut für Meeresforschung, Helsinki.

Z u s a m m e n f a s s u n g

Die vorliegende Untersuchung behandelt die Frage von dem Zusammenhang zwischen der Strenge des Winters und dem Wasserstand in der Ostsee. Als statistisches Resultat ergibt sich dabei, dass einem strengen Winter ein niedriger Wasserstand, einem milden Winter dagegen ein hoher Wasserstand entspricht.

Die Strenge des Winters ist ein Begriff, der sich nicht leicht eindeutig definieren lässt. Das einfachste und natürlichste Kriterium bilden ohne Zweifel die Werte der mittleren Lufttemperatur der Wintermonate. Hierbei muss man jedoch ganz besonders berücksichtigen, dass eine gewisse mittlere Temperatur sehr verschiedenen Wintertypen zugeordnet sein kann and daher nicht imstande ist ein vollständiges Bild von der Erscheinung zu geben. Ein Ausweg liegt weiter in der Bestimmung der Anzahl der Kältetage oder der Kältesummen für verschiedenartige Winter. Bei einem solchen Verfahren fallen wohl die Tage mit Wärmegraden weg, aber es besteht weiterhin eine gewisse Unsicherheit hinsichtlich der Verteilung der Temperatur.

Bei einer Untersuchung im Ostseegebiet ist es ohne Zweifel angebracht, den Winter vermittels der Ausdehnung des Eises zu charakterisieren. Mit diesem Ziel vor Augen hat JURVA [2] in einer umfassenden Untersuchung über die Eisverhältnisse an den Küsten Finnlands die sog. Normalstadien eines Eiswinters hergeleitet. Ein jedes dieser Normalstadien ent-

spricht einer ganz bestimmten Ausdehnung der Festeisbräme, die sich an der Küste entlang erstreckt. Ein Vergleich der tatsächlichen Eislagen mit diesen Normalstadien gibt einen Begriff von der Natur des zu untersuchenden Winters. Nach dieser Methode ist es möglich die Winter in kurze und milde, mittellange und normale oder lange und strenge Winter einzuteilen und überdies eine eventuelle Verschiebung im Verlauf des Winters nachzuweisen. Die absolute Länge eines Winters, vom Beginn der Eisbildung bis zum endgültigen Verschwinden des Eises gerechnet, kann jedoch kaum als Kriterium angewandt werden, und zwar vor allem da die erste Eisbildung in den meisten Fällen von kurzer Dauer ist und somit keine praktische Bedeutung hat. Selbst die Länge des Eiswinters von der Bildung beständigen Eises an gerechnet stellt kein in jeder Hinsicht einwandfreies Mass dar. Es kann sich dabei beispielsweise um eine andauernde geringe Ausdehnung der Eisdecke handeln, die keineswegs bezeichnend für den Charakter des Winters ist. Zur Ausschaltung dieser Schwierigkeiten hat JURVA [3] bei der Bestimmung der Strenge des Winters die Begriffe des Mittwinters und des Hochwinters eingeführt. Der Mittwinter beginnt gemäss JURVA sobald bei zunehmender Eisdecke der Festeisrand eine gewisse Lage oder, was hiermit gleichbedeutend ist, ein gewisses Stadium erreicht hat; sein Ende ist erreicht, wenn dieser Rand beim Eisrückgang an einer anderen bestimmten Grenzlinie angelangt ist (oder ein zweites Stadium erreicht hat). Dem Hochwinter entsprechen gleichermassen zwei weiter von der Küste entfernte Grenzlinien (Stadien) der festen Eisbräme. Die Länge des Mittwinters beläuft sich im süd-westlichen Meeresgebiet Finnlands auf durchschnittlich etwa 11 Wochen, während die Länge des Hochwinters im Mittel nur 4—5 Wochen beträgt. Was die Schwankungen anbetrifft, so sind diese in den einzelnen Jahren sehr gross. Es gibt einerseits Winter, in denen der Mittwinter völlig fehlt, und zwar machen diese während der sechzigjährigen Periode 1880—1939 etwa 12% der gesamten Anzahl der Fälle aus; andererseits aber hatte dieser Teil des Winters im Jahre 1881 eine Länge von 18½ Wochen. Die Stadien, die den Hochwinter kennzeichnen, blieben gegebenermassen noch bedeutend häufiger, d.h. in 47% der Fälle während der entsprechenden Zeitspanne aus, während die maximale Länge des Hochwinters 12—13 Wochen war. Sogar die Länge des Mittwinters bzw. des Hochwinters liefert noch kein widerspruchloses Kriterium für die Strenge des betreffenden Winters, indem bei der Festlegung der Normalstadien der festen Eisbräme das Hauptgewicht galt, während dem Treibeis auf dem Meer in dieser Hinsicht nicht die gleiche Bedeutung zugeschrieben wurde.

Ausser JURVA hat ÖSTMAN [7] eine Einteilung der Winter in leichte, normale und strenge Winter angegeben. Das von ihm bearbeitete Material umfasst die 65-jährige Zeitspanne 1871—1935 und bezieht sich in erster Linie auf die Gewässer ausserhalb der schwedischen Küste. Die Einteilung der Winter wurde von LILJEQUIST [5] bis zum Winter 1948—1949 fortgesetzt. Ein Vergleich der Ergebnisse JURVAS mit denjenigen von ÖSTMAN weist eine Anzahl Abweichungen auf. Es kann zum Beispiel erwähnt werden, dass der Winter 1893—1894, in dem gemäss Jurva der Mittwinter nur 4 Tage umfasste und der Hochwinter somit fehlte, von Östman als normal charakterisiert wird. Zu der Gruppe der normalen Winter gehört nach Östman auch der Winter 1899—1900, obgleich Jurva gefunden hat, dass in diesem Fall der Mittwinter etwa 15 Wochen und der Hochwinter mehr als 10 Wochen umfasste.

Eine Möglichkeit zur Überwindung der obererwähnten Schwierigkeiten besteht darin, dass man die grösste Vereisung bestimmt. JURVA [3] hat den Flächeninhalt dieser Vereisung in der Ostsee für die Jahre 1830—1940 bestimmt. Das Areal der grössten Vereisung schwankte im Laufe dieser 111 Winter innerhalb der Grenzen 56.000 km² (1930) und etwa 420.000 km², der gesamten Ostsee entsprechend. In den letzterwähnten Fällen muss man damit rechnen, dass die Kälte auch in dem südlichen Teil der Ostsee bedeutend gewesen ist. Ein Vergleich der Werte für das Areal der grössten Vereisung gemäss Jurva mit der Östmanschen Einteilung der Winter gibt im grossen und ganzen eine befriedigende Übereinstimmung, doch können einzelne Fälle vorkommen, in denen die Abweichungen recht gross sind. Der Winter 1900—1901 wird zum Beispiel von Östman für das ganze Gebiet der eigentlichen Ostsee als streng charakterisiert, während Jurva die grösste Vereisung auf etwa 180.000 km² geschätzt hat, was in der Tat der grössten Vereisung in einem normalen mittellangen Winter entspricht.

Diese Beispiele dürften hinreichen um die Schwierigkeiten aufzuweisen, die sich der Bestimmung der Strenge des Winters entgegenstellen und die hauptsächlich darauf zurückzuführen sind, dass bei dieser Bestimmung nicht ein einziger Faktor ausschlaggebend sein kann. Die Lufttemperatur ist allerdings ein wichtiger Faktor, doch übt sie keinen Einfluss auf die Bewegung des Eises draussen auf dem Meer aus. In dieser Hinsicht spielt der Wind die entscheidende Rolle.

Ein gewisser Ausweg beim Versuch einer statistischen Behandlung des Problems ist in der Heranziehung der Wasserstandsbeobachtungen zu finden. Auf den ersten Anblick kann zwar ein solcher Ausweg unnatür-

lich erscheinen, doch lassen sich zu seiner Verteidigung verschiedene Gesichtspunkte anführen. Die Höhe des Wasserstandes stellt bekanntlich das Resultat der Einflüsse verschiedener, vorzugsweise meteorologischer Faktoren dar. Erstens ist der Wasserstand vom Luftdruck und von seinen Veränderungen abhängig. Der Luftdruck steht wiederum in enger Beziehung zu der Lufttemperatur im Winter. Ausserdem ist der Wind von entscheidender Bedeutung für die lokalen Wasserstandsschwankungen im Ostseegebiet. Schliesslich sind die Veränderungen der totalen Wassermenge in der Ostsee zur Winterzeit besonders gross. Diese Schwankungen sind von HELA [1] berechnet worden, der die Monats- und Jahresmittel des Ostsee-Wasserstandes in den Jahren 1926—1935 bestimmt hat. In Tabelle 1 sind die Resultate Helas für jeden Monat in Form der extremen Werte der Wassermenge und der Amplitude der Schwankungen wiedergegeben. Mit Ausnahme des November erreicht die Amplitude ihre grössten Werte gerade in den eigentlichen Wintermonaten Januar bis März. Dies deutet ohne Zweifel darauf hin, dass während dieser Zeit der Wasser-austausch durch die Dänischen Gewässer besonders gross sein kann. Da dieser Austausch von der Lage den Zyklonen und Antizyklonen in Nordeuropa beeinflusst wird, ist somit der mittlere Wasserstand in der Ostsee auch ein Indikator dieser Verhältnisse. In milden Wintern sind süd-westliche Winde vorherrschend, die den mittleren Wasserstand der Ostsee erhöhen, in strengen Wintern sind dagegen die nordöstlichen Winde besonders häufig, mit eine Erniederung des Wasserstandes als Folge.

Als Ausgangspunkt unserer Untersuchung haben wir die Wasserstandsbeobachtungen an der Pegelstation Utö ($59^{\circ}47'$ N. Br., $21^{\circ}22'$ Ö. L.) gewählt. Pegelbeobachtungen sind allerdings im allgemeinen nicht so genau wie Mareographenaufzeichnungen; die Wahl von Utö ist jedoch dadurch gerechtfertigt, dass an dieser Station Wasserstandsbeobachtungen seit dem Jahr 1866 ausgeführt worden sind und uns somit eine ununterbrochene Reihe von 90 Jahren zur Verfügung steht. Die Monatsmittelwerte der Beobachtungen, die im folgenden benutzt werden, haben sich ausserdem bei einer kritischen Durchsicht und einem Vergleich mit den Ergebnissen der benachbarten Stationen als zuverlässig erwiesen. Ausserdem ist die Lage von Utö für unsere Untersuchung in hohem Mass günstig, da sich hier in dem Mass, in dem dies für eine nicht auf hoher See liegende Station überhaupt möglich ist, die mittleren monatlichen Wasserstandsschwankungen sehr nahe denjenigen der ganzen Ostsee anschliessen. In der Tat hat eine Korrelationsberechnung gezeigt, dass zwischen den

Monatsmittelwerten der zehnjährigen Periode für den Ostseewasserstand, von HELA berechnet, und für Utö der Korrelationsfaktor $r=0.989$ besteht, was ohne Zweifel als ein sehr gutes Resultat betrachtet werden muss; zumal wenn wir berücksichtigen, dass die beiden Reihen je 120 Glieder enthalten. Der wahrscheinliche Fehler des Korrelationsfaktors beträgt nur 0.0012 und hat somit keine praktische Bedeutung. Was die einzelnen Werte anbetrifft, so ist, falls wir nur die Wintermonate Dezember bis März der beiden Reihen für die erwähnte zehnjährige Zeitspanne miteinander vergleichen, der mittlere Fehler 1.9 cm. Dies ist ein sehr befriedigendes Ergebnis, da die absoluten Schwankungen des Wasserstandes der Ostsee während der betreffenden Zeit gemäss Tabelle 1 77.9 cm betragen und der mittlere Fehler somit nur 2.4% der Amplitude der absoluten Schwankungen ausmacht.

Obwohl wir über Wasserstandsbeobachtungen in Utö von 90 Jahren verfügen, sind im folgenden nur die Monatsmittelwerte für die 70-jährige Zeitspanne 1880—1949 angewandt worden. Dies geschah hauptsächlich deshalb, weil nur für diese Periode eine gemäss der Methode von JURVA [4] ausgeführte Zeitanalyse der Eiswinter vorliegt. Neben den Werten der Lufttemperatur und des Luftdrucks bedienen wir uns nämlich der Ergebnisse dieser Analyse als Vergleichsmaterial zu unseren Resultaten, die sich ergeben, wenn der Wasserstand als Indikator der Strenge des Winters gewählt wird.

Der erste Schritt auf unser Ziel hin bestand darin, die Wasserstandsbeobachtungen von Utö mit der Lufttemperatur und dem Luftdruck zu korrelieren. Für diesen Zweck wurden die betreffenden meteorologischen Beobachtungen für Mariehamn benutzt. Dieser Ort ist etwa 90 km in west-nord-westlicher Richtung von Utö entfernt. In den wenigen Fällen, wo die letzterwähnten Reihen Lücken aufwiesen, wurden die fehlenden Werte auf Grund der Beobachtungen an nahegelegenen Stationen interpoliert. Die Berechnungen wurden auf den Mittelwert der Monate Januar und Februar basiert. Dies sind ja die beiden Monate, in denen nach den Untersuchungen von JURVA, wenigstens in normalen Wintern, der entscheidende Teil der Eisbildung stattfindet, obschon die Kulmination der Eislage gewöhnlich erst im März eintritt. Wenn wir uns somit auf die Zeit der Eisbildung beschränken, so sind die zwei erwähnten Monate vom grössten Interesse. Die Korrelationsberechnung für die Mittelwerte der Monate Januar und Februar für den Wasserstand bei Utö einerseits und die Lufttemperatur und den Luftdruck in Mariehamn andererseits hat folgende Ergebnisse geliefert:

Wasserstand—Lufttemperatur:

Korrelationsfaktor $r=0.67$,

wahrscheinlicher Fehler $s=0.044$,

Wasserstand—Luftdruck:

Korrelationsfaktor $r=0.66$,

Wahrscheinlicher Fehler $s=0.046$.

Da der Luftdruck einen unmittelbaren Einfluss auf den Wasserstand ausübt, während dies nicht für die Lufttemperatur gilt, ist es überraschend, dass der Korrelationsfaktor in den beiden Fällen praktisch gleich gross ist. Dies spricht sehr zugunsten des Werts der Wasserstandsbeobachtungen als Indikator der Strenge des Winters, indem offenbar der Wasserstand von den allgemeinen Witterungsverhältnissen abhängig ist und somit alle betreffenden Faktoren in mehr oder weniger ausgeprägter Weise wiederspiegelt.

Gehen wir deswegen von der Voraussetzung aus, dass ein niedriger mittlerer Wasserstand während der Monate Januar und Februar im Mittel hohem Luftdruck und starker Kälte entspricht, so müssen wir jedoch, um ein vollständiges Bild von der Erscheinung zu gewinnen, noch den Wasserstand im Dezember und bisweilen sogar im November berücksichtigen. War beispielsweise der Wasserstand im Dezember ausserordentlich hoch, so kann trotz einer bedeutenden Abnahme der Mittelwert für die Monate Januar und Februar noch verhältnismässig hoch sein und im Vergleich mit den übrigen Faktoren eine mehr oder weniger ausgeprägte Ausnahme von der allgemeinen Regel bilden. Einen solchen Fall haben wir nach allem zu urteilen in dem ausserordentlich kalten Winter 1880/81, wo die Abnahme des Wasserstandes vom Dezember bis auf den Mittelwert von Januar und Februar 43 cm betrug, während der durchschnittliche Wert nur etwa 6 cm ist. Ein niedriger Wasserstand im Dezember entspricht dagegen im allgemeinen kaltem Wetter, das einen gewissen Einfluss auf die Strenge des Winters auszuüben vermag, obgleich der genannte Monat keineswegs in dieser Hinsicht entscheidend sein kann. Als Beispiele von Fällen mit niedrigem Wasserstand im Dezember können die Winter 1882—1883 (Nr. 3) und 1907—1908 (Nr. 47) erwähnt werden. Wie Tabelle 2 zeigt, erreichte die Bräme des festen Küsteneises in diesen Wintern schon um die Jahreswende ein Stadium, das die mittleren Verhältnisse bedeuten überschreitet. Den extremen Fall bildet jedoch in dieser Hinsicht der Winter 1915—1916 (Nr. 55), in dem schon Ende Dezember ein Normalstadium vorkam, das nach den Untersuchungen von JURVA in normalen Fällen erst etwa sechs Wochen

Tabelle 1. Die extremen Werte und Amplituden der Schwankungen des mittleren Wasserstandes (cm) in der Jahren 1926—1935.

	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Jah
Max.	28.0	17.3	4.9	4.6	8.1	12.8	24.9	20.2	18.9	27.4	38.2	11.5	38
Min.	—13.5	—39.7	—38.0	—34.9	—22.1	—17.6	—4.7	4.4	—13.0	—9.1	—9.0	—20.8	—39
Ampl.	41.5	57.0	42.9	39.5	30.2	30.4	29.6	15.8	31.9	36.5	47.2	32.3	77

später eintritt. Diese Erscheinung war die Folge einer äusserordentlich früh einsetzenden Eisbildung, die endgültig schon Anfang November, d.h. etwa vier Wochen früher als normal, stattfand und ihrerseits einen extremen Fall bildete. Entsprechend finden wir, dass der Wasserstand im November 1915 etwa 15 cm niedriger als im Mittel für diesen Monat war, während er im Oktober sogar 24 cm niedriger war. In diesem Zusammenhang muss jedoch betont werden, dass der Wasserstand für Oktober und November in dem betreffenden Jahr kein absolutes Minimum darstellte. Dieses Resultat ist keineswegs überraschend, da während der Herbstmonate der Wärmeverrat des Meeres noch sehr gross sein kann, was einen entscheidenden Einfluss auf die Eisbildung hat [6]. Gehen wir schliesslich zum März über, so ist es eben dieser Monat, der gewissermassen die Länge des Winters reguliert. Der März ist auch der Monat, in dem gewöhnlich der Übergang von Eiszuwachs zu Eisabnahme stattfindet, und strenge Kälte bzw. niedriger Wasserstand kann den Kulminationszeitpunkt bedeutend verschieben. Da aber der März nur in Ausnahmefällen für die Strenge des Winters unmittelbar massgebend ist, haben wir die Beobachtungen in diesem Monat nur als Ergänzung der Resultate betrachtet.

In Tabelle 2 findet man eine Anzahl von verschiedenen Faktoren, die den Zusammenhang zwischen Wasserstand und Strenge der Winters wiedergeben. Diese Tabelle ist derart aufgestellt worden, dass die Winter mit Rücksicht auf den mittleren Wasserstand in den Monaten Januar und Februar in sieben Gruppen von je zehn Wintern zusammengefasst wurden. Dabei entspricht die erste Gruppe den Jahren mit dem niedrigsten Wasserstand, der allmählich zunimmt, sodass die siebente Gruppe die Winter mit dem höchsten beobachteten Wasserstand umfasst. Bei der Bestimmung des Wasserstandes wurde, um ein vergleichbares Material zu erhalten, die Landhebung berücksichtigt. Die erste Spalte der Tabelle 2 enthält eine laufende Nummer, die das Aufsuchen eines speziellen Winters in der Tabelle erleichtert, und in der zweiten Spalte finden wir die Jahreszahl. Die dritte Spalte zeigt den mittleren Wasserstand für Dezember,

Tabelle 2. Wasserstand und Strenge des Winters

No	Winter	Wasserstand, cm.			t° Jan.-Febr.	Luftdruck mm. Jan.-Febr.	Stadien unter Jan.-Febr.	An- zahl
		Dezember	Jan.-Febr.	März				
1	1946/47	—11.2	—34.8	—20.6	—7.4	768.2	2—15	13
2	1899/00	9.5	—30.1	—23.1	—6.4	758.5	6—15	9
3	1882/83	—39.2	—27.5	—21.2	—6.0	764.1	9—13	4
4	1940/41	11.4	—26.1	—17.1	—10.1	758.8	4—15	11
5	1928/29	14.4	—25.8	—17.7	—7.5	770.3	4—15	11
6	1894/95	8.7	—24.0	—16.3	—7.9	760.0	3—15	12
7	1896/97	—22.6	—21.3	—21.1	—5.8	758.0	5—15	10
8	1892/93	—1.8	—21.0	1.5	—10.6	759.2	6—15	9
9	1884/85	6.7	—20.0	—8.3	—3.0	759.4	6—9	3
10	1916/17	—8.3	—17.4	—34.5	—6.6	759.5	5—12	7
11	1939/40	5.3	—17.4	—15.1	—11.0	764.0	5—15	10
12	1941/42	11.9	—17.4	—26.6	—13.5	765.2	7—15	8
13	1890/91	—23.2	—15.3	—5.3	—2.5	762.8	5—7	2
14	1886/87	18.1	—14.2	—10.5	—0.7	763.2	4—6	2
15	1903/04	—5.9	—14.0	—36.2	—3.4	757.4	3—10	7
16	1885/86	19.0	—13.6	—49.4	—5.0	761.8	4—15	11
17	1887/88	18.3	—13.5	—48.0	—7.2	761.2	5—15	10
18	1914/15	12.2	—13.2	—14.1	—3.7	755.4	3—14	11
19	1911/12	—9.2	—12.4	—10.2	—5.4	758.2	4—13	9
20	1918/19	1.8	—12.2	—14.7	—3.0	759.8	2—10	8
21	1925/26	14.0	—11.0	7.1	—6.4	763.6	7—15	8
22	1936/37	25.9	—8.4	—16.5	—2.8	759.6	0—11	11
23	1923/24	7.3	—6.1	—11.0	—6.2	759.5	5—15	10
24	1930/31	1.2	—5.4	—12.9	—4.8	757.4	4—12	18
25	1880/81	38.5	—4.4	—20.8	—8.8	758.0	7—15	8
26	1921/22	11.7	—1.9	4.0	—5.9	759.2	5—15	10
27	1900/01	8.8	—1.5	—29.4	—5.4	757.2	5—15	10
28	1932/33	12.8	—1.2	—18.0	—3.6	762.9	0—10	10
29	1891/92	0.6	—1.2	—38.4	—6.1	753.8	4—14	10
30	1908/09	7.4	—1.0	—29.3	—3.4	759.0	6—13	7
31	1889/90	—6.5	—0.6	—11.0	—0.6	760.5	1—7	6
32	1879/80	—4.3	0.6	—6.2	—2.8	757.6	5—10	5
33	1935/36	4.0	0.7	—21.1	—3.9	756.2	2—12	10
34	1938/39	—9.5	0.7	—12.0	—0.5	755.0	4—6	2
35	1888/89	13.3	0.9	—22.7	—5.0	754.8	6—15	9
36	1895/96	—2.6	1.9	—9.7	—1.4	761.2	4—10	6
37	1927/28	—18.4	2.0	—37.0	—4.4	757.6	7—13	6

Tabelle 2. (Fortsetzung)

No	Winter	Wasserstand, cm.			t° Jan.-Febr.	Luftdruck mm. Jan.-Febr.	Stadien unter Jan.-Febr.	An- zahl
		Dezember	Jan.-Febr.	März				
38	1929/30	16.3	2.0	-11.9	0.0	760.7	1-6	5
39	1906/07	21.5	2.4	7.8	-3.2	756.6	4-10	6
40	1912/13	35.9	3.2	27.6	-2.4	761.3	1-10	9
41	1934/35	-4.2	3.8	-19.0	-1.6	752.6	1-8	7
42	1926/27	8.4	6.7	-12.5	-2.2	758.8	5-10	5
43	1944/45	9.5	6.8	16.4	-1.8	759.8	1-8	7
44	1922/23	19.8	8.6	-40.3	-3.9	757.5	5-14	9
45	1947/48	15.4	8.6	4.2	-4.2	759.2	5-15	10
46	1917/18	42.1	8.8	-21.6	-4.8	756.0	4-10	6
47	1907/08	-21.7	10.3	-30.7	-2.8	752.7	8-10	2
48	1901/02	6.7	10.4	-16.0	-3.6	755.0	9-15	6
49	1910/11	-10.5	10.6	2.8	-1.6	756.8	3-9	6
50	1919/20	3.3	10.8	4.8	-1.9	755.7	7-10*	3
51	1933/34	-16.1	11.9	-1.0	0.1	757.8	5-8	3
52	1937/38	-14.5	12.2	24.8	-0.4	755.8	5-6	1
53	1905/06	19.7	12.3	21.5	-2.5	754.4	4-7	3
54	1920/21	-29.9	13.5	9.9	-2.3	756.9	2-10*	8
55	1915/16	4.7	14.8	-33.8	-3.2	753.8	11-12	1
56	1898/99	32.8	15.4	4.7	-4.2	752.7	4-14	10
57	1942/43	29.5	15.9	17.4	-1.2	750.8	2-7*	5
58	1883/84	21.2	16.0	-33.4	-2.3	755.8	2-8	6
59	1945/46	12.6	16.4	-5.0	-3.7	757.4	4-10	6
60	1893/94	13.9	17.3	4.1	-1.2	753.4	3-7	4
61	1909/10	5.0	17.5	-5.2	-1.2	752.1	2-7	5
62	1913/14	53.0	20.4	-2.2	-2.0	755.2	4-10	6
63	1904/05	24.1	20.6	-25.6	-3.4	756.8	6-10	4
64	1897/98	2.8	20.8	-7.9	-1.4	756.2	2-7	5
65	1902/03	-20.1	21.0	-21.9	-2.2	753.0	6-9	3
66	1881/82	-0.4	21.6	22.9	-0.6	756.1	2-6	4
67	1931/32	11.3	23.1	-13.4	-2.0	761.2	7-10	3
68	1924/25	6.1	32.0	-8.6	0.6	754.9	1-4	3
69	1943/44	10.0	36.2	8.6	-0.7	754.0	1-6	5
70	1948/49	28.6	36.2	16.1	1.0	755.0	1-5	4

* Der Rückgang des Eis begann schon im Februar

die vierte Spalte den entsprechenden Mittelwert für die Monate Januar und Februar und die fünfte denjenigen für März. In der sechsten und siebenten Spalte ist die Lufttemperatur bzw. der Luftdruck in Mariehamn als Mittelwerte der Monate Januar und Februar angeführt. In der achten Spalte finden wir schliesslich Angaben über den Zuwachs des Eises von Anfang Januar bis Ende Februar, durch die bereits mehrmals erwähnten Normalstadien von JURVA charakterisiert. Es würde in diesem Zusammenhang zu weit führen, diese Stadien näher auseinanderzusetzen, und wir begnügen uns mit einem Hinweis auf die Originaluntersuchung [2]. Es sei jedoch erwähnt, dass die Anzahl der Stadien von JURVA für die Zeit der Eiszunahme 15 beträgt und dass die höheren dieser Stadien nicht in jedem Winter auftreten, sondern die Wahrscheinlichkeit ihres Auftretens allmählich abnimmt und für das Kulminationsstadium 15 nur etwa 40% beträgt. Es ist somit selbstverständlich, dass einerseits die höheren Stadien nur in strengen Wintern erreicht werden und dass andererseits die Anzahl der Stadien, die während der Monate Januar und Februar aufgetreten sind, um so grösser sein muss, je kälter der Winter war. Diese Anzahl ist in der letzten, neunten Spalte der Tabelle 2 gegeben. Da die Normalstadien eine obere Grenze (das Stadium 15) haben, hat sicher der Eiszuwachs in vielen Fällen, wo diese Grenze erreicht wurde, keine vollständig Wiedergabe gefunden und die angegebene Anzahl der Normalstadien ist daher im Grunde etwas zu klein. Es ist ferner nicht möglich, ein eindeutiges Ergebnis vermittle der Normalstadien zu erhalten, da diese ohne Berücksichtigung der Kältesummen und anderer mitwirkender Faktoren aufgebaut worden sind und deshalb der Übergang von einem Stadium zum folgenden in verschiedenen Fällen nicht unmittelbar vergleichbar ist. In erster Annäherung sind jedoch diese Normalstadien für unseren Zweck gut geeignet.

Ein flüchtiger Blick auf Tabelle 2 genügt nicht, um die Kennzeichen der verschiedenen Wintertypen auffindig zu machen, da die Streuung der Werte in den einzelnen Jahren sehr gross ist. Deshalb haben wir in Tabelle 3 die Mittelwerte der verschiedenen Faktoren für die sieben Gruppen der Tabelle 2 zusammengestellt. In Tabelle 3 tritt der Zusammenhang zwischen den verschiedenen Faktoren deutlich zum Vorschein. Niedrigen Wasserstand entspricht, wie erwähnt, niedrige Wintertemperatur. Mit nur einer Ausnahme nehmen die beiden Grössen gleichzeitig zu, und zwar so, dass einer Zunahme des Wasserstandes um beinahe 50 cm eine Erhöhung der Lufttemperatur um etwa 6° entspricht. Die gleichzeitige Abnahme des Luftdrucks beträgt etwa 6 mm. Auch für den

Tabelle 3. Mittelwerte verschiedener die Strenge des Winters charakterisierenden Faktoren für sieben Gruppen.

Gruppe	Mittlerer Wasserstand December cm.	Mittlerer Wasserstand Jan.—Febr. cm.	Mittlerer Wasserstand März cm.	Mittlere Lufttemp. Jan.—Febr. t°	Mittlerer Luftdruck Jan.—Febr. mm.	Anzahl der Stadien
1	—3.2	—24.8	—17.8	—7.1	761.6	8.7
2	4.8	—14.3	—23.0	—5.5	760.9	7.8
3	12.8	—4.2	—16.5	—5.3	759.0	9.2
4	5.0	1.4	—9.6	—2.4	758.2	6.4
5	6.9	8.5	—11.2	—2.8	756.4	6.1
6	7.4	14.6	0.9	—2.1	754.9	4.7
7	12.0	24.9	—3.7	—1.2	755.4	4.2

Luftdruck ist der regelmässige Verlauf an einer Stelle gestört. Die mittlere Anzahl der Normalstadien, die im Laufe von Januar und Februar erreicht wurden, nimmt auch vom Wert 8 bis 9 für die drei ersten Gruppen bis auf etwa 4 für die siebente Gruppe ab. Da die Anzahl der Fälle, in denen das Normalstadium 15 erreicht wurde, in den drei ersten Gruppe recht gross ist, ist die mittlere Anzahl der Normalstadien in diesen Gruppen wahrscheinlich etwas zu klein. Andererseits ist der Wert für die dritte Gruppe verhältnismässig zu hoch; dies rührt daher, dass in dieser Gruppe zwei Winter (Nr. 22 und Nr. 28) auftreten, in denen die eigentliche Eisbildung erst im Januar begann, während man im Mittel mit dem Stadium 4 um die Jahreswende rechnen kann. Diese Verspätung der allgemeinen Entwicklung war für die Entstehung des Eises besonders günstig, was eine ausserordentlich schnelle Eisbildung zu Folge hatte.

Schliesslich muss noch der mittlere Wasserstand im Dezember und März etwas näher besprochen werden. Zu diesem Zweck wurden die Veränderungen des Wasserstandes von Dezember bis zu dem Mittelwert von Januar und Februar und von diesem Mittelwert bis März bestimmt. Eine Zunahme des Wasserstandes im Laufe des Winters wird mit einem Plus-Zeichen angegeben, eine Abnahme mit einem Minus-Zeichen. Die betreffenden Werte sind in Tabelle 4 zusammengestellt:

Tabelle 4. Mittlerer Wasserstand im Dezember und März im Vergleich zu demjenigen im Januar—Februar.

Gruppe	Veränderung des Wasserstandes von Dezember bis zu dem Mittelwert von Januar und Februar. cm	Veränderung des Wasserstandes von dem Mittelwert von Januar und Februar bis März. cm
1	—21.6	+7.0
2	—19.1	—8.7
3	—17.0	—12.3
4	—3.6	—11.0
5	+1.6	—19.7
6	+7.2	—13.7
7	+12.9	—28.6

Es fällt sofort auf, dass Winter mit niedrigem Wasserstand während der Monate Januar und Februar durch eine ausgeprägte Abnahme des Wasserstandes im Anfang des Winters gekennzeichnet sind, während Winter mit hohem Wasserstand die entgegengesetzte Tendenz aufweisen. Um diese Frage näher zu ergründen, wurde die Korrelation zwischen der Lufttemperatur in Mariehamn für die Monate Januar und Februar und dem Wasserstandsunterschied zwischen Dezember und dem Mittelwert für Januar und Februar für die 79-jährige Periode bestimmt. Es ergab sich hierbei der Korrelationsfaktor $r=0.56$ und der wahrscheinliche Fehler $s=0.052$, was ohne Zweifel einer sicheren Korrelation entspricht.

Die Abnahme des Wasserstandes ist jedoch ohne Zweifel nicht allein für die Strenge des Winters massgebend; vielmehr spielt dabei auch die absolute Höhe des Wasserstandes im Dezember eine grosse Rolle. In den Jahren mit hohem Wasserstand im Dezember hat eine gewisse Abnahme für den allgemeinen Charakter des Winters nicht die gleiche Bedeutung wie in den Jahren, in denen schon das Ausgangsniveau niedrig gewesen ist. Es erscheint deswegen angebracht, anstatt der blossen Abnahme des Wasserstandes einen empirische Ausdruck zu benutzen, in dem auch der absolute Wasserstand im Dezember Berücksichtigung findet. Bezeichnen wir mit W_D den Wasserstand im Dezember, mit W_D^{\max} den maximalen beobachteten Wasserstand im gleichen Monat und mit W_{JF} den mittleren Wasserstand für Januar und Februar, so können die beiden in Frage stehenden Faktoren beispielsweise in dem des Ausdrucks

$$-A(W_D^{\max} - W_D) + B(W_{JF} - W_D)$$

zusammengefasst werden. Nach Tabelle 2 ist der höchste beobachtete Wasserstand im Dezember 53.0 cm (Nr. 62). Die Konstanten A und B wurden nach der Methode der kleinsten Quadratsumme für die Mittelwerte der sieben Gruppen bestimmt. Der obige Ausdruck wird damit:

$$-0.056 (53.0 - W_D) + 0.15(W_{JF} - W_D).$$

Korrelieren wir die mittlere Lufttemperatur in Mariehamn für Januar und Februar mit den Resultaten dieser Formel für unsere 79-jährige Periode, so erhalten wir den Korrelationsfaktor $r=0.66$ und den wahrscheinlichen Fehler $s=0.043$. Im Vergleich mit dem Ergebnis, das sich auf die Abnahme des Wasserstandes allein gründet, drückt dieser Korrelationsfaktor eine bedeutende Verbesserung aus.

Eine gewisse wenn gleich nicht so ausgeprägte Tendenz kann auch bezüglich des Wasserstandes im März im Vergleich mit demjenigen im Januar und Februar beobachtet werden. In diesem Zusammenhang muss hervorgehoben werden, dass der jährliche Verlauf der Monatsmittel des Wasserstandes eine durchschnittliche Abnahme von etwa 12 cm für die betreffenden Monate aufweist. Als allgemeine Regel haben wir somit eine relative Zunahme des Wasserstandes in den zwei ersten Gruppen, die für die erste Gruppe besonders stark ausgeprägt ist. Die dritte und vierte Gruppe entsprechen dagegen im grossen und ganzen normalen Verhältnissen, während in den drei letzten Gruppen die Abnahme des Wasserstandes grösser als im Mittel ist und vor allem die siebente Gruppe eine sehr starke Abnahme aufweist.

Wir haben auch den mittleren Wasserstand der Monate Januar und Februar in verschiedenen Wintern bestimmt, die gemäss der Definition von ÖSTMAN entweder streng, normal oder leicht gewesen sind. Als Grund für diese Einteilung haben wir die nördliche Ostsee gewählt, da dieser Teil den mittleren Verhältnissen des gesamten Beckens wahrscheinlich am besten entspricht. Da die von LILJEUQUIST ergänzte Einteilung ÖSTMANS 79 Winter, 1870/71—1948/49, umfasst, haben wir alle diese Jahre berücksichtigt. Die Anzahl der strengen Winter war nach ÖSTMAN und LILJEUQUIST 19, die der normalen 35 und die der leichten 25. Der mittlere Wasserstand für die Monate Januar und Februar war

	für die strengen Winter	—15.1 cm,
	» » normalen	» —3.1 »
	und » » leichten	» 12.1 ».

Was die Schwankungen des Wasserstandes für die drei Wintertypen anbelangt, so sind diese sehr gross. Die extremen Werte sind

für die strengen Winter	—43.0 cm bzw. 15.4 cm,
» » normalen »	—31.3 » » 23.1 »,
und » » leichten »	—14.2 » » 36.2 ».

Es muss jedoch in diesem Zusammenhang betont werden, dass diese Schwankungen bedeutend reduziert werden, wenn wir einen oder zwei Winter weglassen. Ein solches Verfahren ist berechtigt, da die zwei Fälle, die für die strengen Winter in Frage kommen, die Winter 1898/99 (Nr. 56) und 1915/16 (Nr. 55) sind, die, obgleich von ÖSTMAN für die nördliche Ostsee als streng bezeichnet, für die südliche Ostsee als leicht bzw. normal angegeben wurden. Werden diese zwei Winter ausser acht gelassen, so geht die obere Grenze des Wasserstandes für die strengen Winter auf —1.5 cm herab. Unter den leichten Wintern zeigt der Winter 1886/87 (Nr. 14) die grösste Abweichung, dies ist aber auch der einzige Winter in der betreffenden Gruppe, der für die südliche Ostsee als normal charakterisiert wird. Lassen wir diesen Winter aus, so steigt der niedrigste Wasserstand für die leichten Winter auf —0.6 cm. Wir erhalten somit als die niedrigsten, mittleren und höchsten Werte des Wasserstandes

für die strengen Winter	—43.0 cm,	—18.6 cm bzw.	—1.5 cm,
» » normalen »	—31.3 »	—3.1 » »	23.5 »,
und » » leichten »	—0.6 »	13.1 » »	36.2 ».

Die immer noch grossen Schwankungen, besonders im Fall der normalen Winter, sind durchaus natürlich, da die Grenze zwischen den verschiedenen Wintertypen nicht scharf ist und die ÖSTMANSche Einteilung somit nur eine gewisse Annäherung vertritt. Die allgemeine Tendenz geht jedoch aus den obigen Werten deutlich hervor und zeigt, dass der Wasserstand statistisch als Indikator der Strenge des Winters benutzt werden kann.

LITERATURVERZEICHNIS

1. HEILA, ILMO, 1944: Über die Schwankungen des Wasserstandes in der Ostsee mit besonderer Berücksichtigung des Wasseraustausches durch die dänischen Gewässer. *Merentutk. Julk./Havsforskningsinst. Skrift* No 134, S. 33.
2. JURVA, RISTO, 1937: Über die Eisverhältnisse des Baltischen Meeres an den Küsten Finnlands. *Ibid.* No. 114, 113—125.
3. —»— 1944: Über den allgemeinen Verlauf des Eiswinters in den Meeren Finnlands und über die Schwankungen der grössten Vereisung. *Sitzungsber. der Finnischen Akademie der Wissensch.* 1941, 67—112.
4. —»— (†) und PALOSUO, ERKKI, 1955: Die Eiswinter 1880—1949 im Lichte der Zeitanalyse. *Merentutk. Julk./Havsforskningsinst. Skrift* No. 169, 1—12.
5. LILJEQUIST, GÖSTA H., 1951: Isar och israpportjänst. *Boken om havet*, Bd 2, Stockholm, Sohlmans Förlag, s. 225.
6. LISITZIN, EUGENIE, 1939: Zur Frage des prognostischen Wertes der Wassertemperatur im Schärenmeer. *Merentutk. Julk./Havsforskningsinst. Skrift* No. 123, 1—21.
7. ÖSTMAN, C. J., 1937: Isförhållandena vid Sveriges kuster under vintrarna 1870/71—1934/35. *Medd. fr. Statens Meteor.-Hydrogr. Anstalt*, Bd. 6, No 6, 15—17.