

# Copyright ©

---

Es gilt deutsches Urheberrecht.

Die Schrift darf zum eigenen Gebrauch kostenfrei heruntergeladen, konsumiert, gespeichert oder ausgedruckt, aber nicht im Internet bereitgestellt oder an Außenstehende weitergegeben werden ohne die schriftliche Einwilligung des Urheberrechtinhabers. Es ist nicht gestattet, Kopien oder gedruckte Fassungen der freien Onlineversion zu veräußern.

German copyright law applies.

The work or content may be downloaded, consumed, stored or printed for your own use but it may not be distributed via the internet or passed on to external parties without the formal permission of the copyright holders. It is prohibited to take money for copies or printed versions of the free online version.

## Spektren der Wasserstandsschwankungen der Ostsee im Jahre 1958

VON LORENZ MAGAARD UND WOLFGANG KRAUSS

**Zusammenfassung:** Mit Hilfe des Verfahrens von J. W. TUKEY werden gefilterte und ungefilterte Energie- bzw. Amplitudenspektren der Wasserstandsschwankungen des Jahres 1958 an 31 Pegelstationen entlang der Ostseeküste berechnet (Durchlaßbereich des Filters 6h—50h). Für benachbarte Stationen werden ferner Co- und Quadratur-Spektren sowie Phasendifferenz und Kohärenz berechnet. Aus den Spektren der gefilterten Meßreihen wird die Verteilung der Amplituden der  $S_2$ -,  $M_2$ -,  $K_1$ - und  $O_1$ -Tide ermittelt. Dabei wird unterschieden zwischen den Amplituden, die der Gesamtenergie im Spektrum bei den Gezeitenperioden entsprechen und denjenigen, die aus der Energiedifferenz zwischen der Gesamtenergie und der mittleren Energie des meteorologisch bedingten Spektralniveaus resultieren. Die ungefilterten Spektren zeigen mit Ausnahme der Stationen des Finnischen Meerbusens eine Energiekonzentration im Bereich von etwa 120h. Es wird eine spezielle Situation gefunden, in der die Wasserstände weitgehend durch eine 120-stündige Periodizität beschrieben werden können. Diese Periodizität erweist sich als stehende, winderzeugte Welle.

**Spectra of the 1958 sea level records in the Baltic (Summary):** Energy and amplitude spectra with and without a bandpass filter from 6h—50h of the 1958 sea level records from 31 tide gauges along the coast of the Baltic have been computed by means of the method of J. W. TUKEY. For neighbouring stations co- and quadrature-spectra, phase difference and coherence have also been computed. The amplitude and phase distribution of the  $S_2$ ,  $M_2$ ,  $K_1$  and  $O_1$  tide have been derived from the filtered spectra. The amplitudes corresponding to the total energy at the tidal periods and those resulting from the energy difference between the total energy and the noise energy are given separately. The spectra computed without filtering show an energy concentration in the range of about 120h except at the stations of the Gulf of Finland. A special situation has been found where the water level can be described by a 120h periodicity to a large extent. This periodicity turns out to be a standing wave forced by wind.

### I. Einleitung

Von der 3. Konferenz der Baltischen Ozeanographen (Göteborg, 1962) wurde eine Empfehlung (Empfehlung 1962—4) herausgegeben, nach der am Institut für Meereskunde der Universität Kiel eine Periodenanalyse der stündlichen Werte der Pegelstände des Jahres 1958 von möglichst vielen Stationen der Ostseeküste durchgeführt werden sollte. Die Verfasser haben sich dieser Aufgabe unterzogen, um erstmals einen Überblick über die spektrale Verteilung der Energie der Wasserstandsschwankungen der Ostsee für Perioden bis zu etwa 1000 h zu gewinnen. Bisher wurden Untersuchungen der Wasserstandsschwankungen der Ostsee meist auf spezielle Perioden beschränkt, wobei die Energieverteilung in der Umgebung dieser Perioden unberücksichtigt blieb. So wurden die Gezeiten der Ostsee von R. WITTING (1911) und E. LISITZIN (1943, 1944 und 1951) berechnet. In jüngerer Zeit wurden auch Spektren von Wasserstandsschwankungen der Ostsee berechnet. Diese beschränken sich aber auf Bereiche sehr langer Perioden oder auf wenige Pegelstationen. So beschäftigten sich R. HAUBRICH, JR. und W. MUNK (1959) sowie I. V. MAXIMOV und V. P. KARKLIN (1965) mit der sogenannten Polflut (Wasserstandsschwankung mit der Chandler'schen Periode der Polschwankung von etwa 430 Tagen) in der Ostsee.

## II. Das Datenmaterial

In Tabelle 1 sind die benutzten Pegelstationen zusammengestellt.  $\Delta t$  bedeutet die Zeitdifferenz zwischen zwei aufeinanderfolgenden Wasserstandswerten. Da an einigen Stationen die Werte nicht für das ganze Jahr 1958 vorlagen, wurde durch Angabe der Monate vermerkt, aus welchem Zeitraum Material für die Untersuchungen herangezogen wurde.

Tabelle 1  
Die Pegelstationen

Region	Pegel	$\Delta t$ [h]	Zeitraum
Westliche Ostsee	Langballigau	1	1.—12.
	Marienleuchte	1	5.—12.
	Neustadt	1	3.—12.
	Warnemünde	1	1.—12.
	Gedser	1	1.—5. und 8.—12.
Mittlere Ostsee	Kolberg	1	1.—12.
	Wladyslawowo	1	1.—12.
	Ystad	1	1.—12.
	Kungsholmsfort	1	1.—4. und 9.—12.
	Landsort	1	1.—12.
	Stockholm	1	1.—12.
Finnischer Meerbusen	Tallinn	6	1.—12.
	Leningrad	1	1.—12.
	Primorsk	6	1.—12.
	Hamina	1	1.—12.
	Helsinki	1	2.—12.
	Hangö	1	1.—12.
Bottnischer Meerbusen	Degerby	1	1.—3. und 7.—10.
	Åbo	1	1.—9.
		4	1.—12.
	Rauma	4	1.—12.
	Mäntyluoto	1	1.—12.
	Kaskö	1	1.—12.
	Vaasa	1	4.—7.
		4	1.—12.
	Alholmen	1	1.—3. und 5.—12.
		4	1.—12.
	Raahe	1	1.—10.
	4	1.—12.	
Bottnischer Meerbusen	Oulu	4	1.—12.
	Kemi	1	1.—8.
		4	1.—12.
	Furuögrund	1	1.—12.
	Ratan	1	1.—12.
	Draghällan	1	1.—12.
	Björn	1	1.—12.

Legende zu den nebenstehenden Abbildungen (Tafel 1)

Abb. 1: Geographische Lage der Pegelstationen.

Abb. 2—16: Gefilterte Spektren, Darstellung der Amplitude über der Periode.

Legende zu den nebenstehenden Abbildungen (Tafel 2)

Abb. 17—41: Gefilterte Spektren, Darstellung der Amplitude über der Periode.

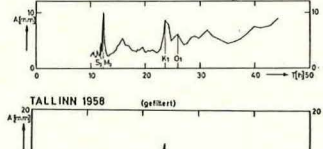
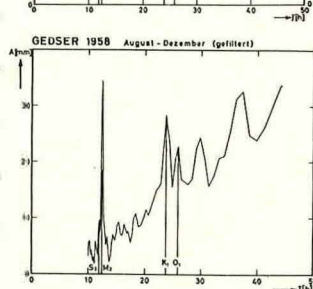
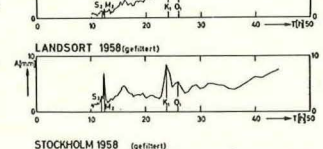
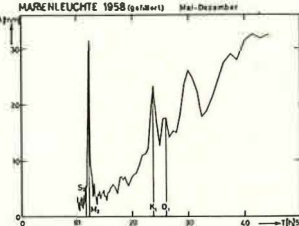
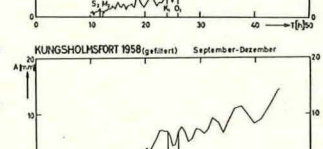
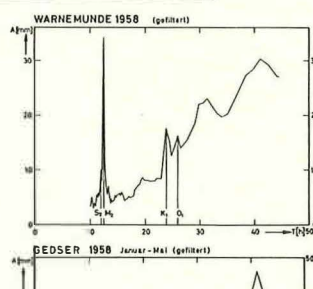
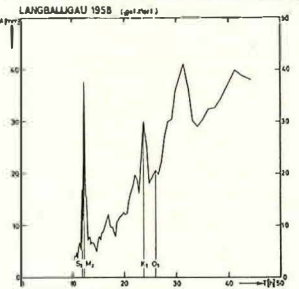
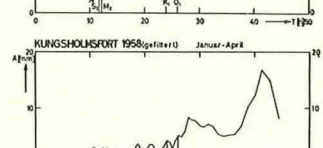
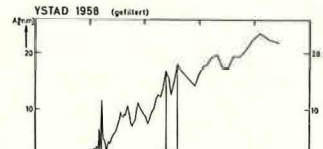
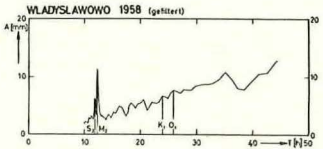
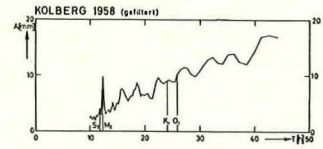
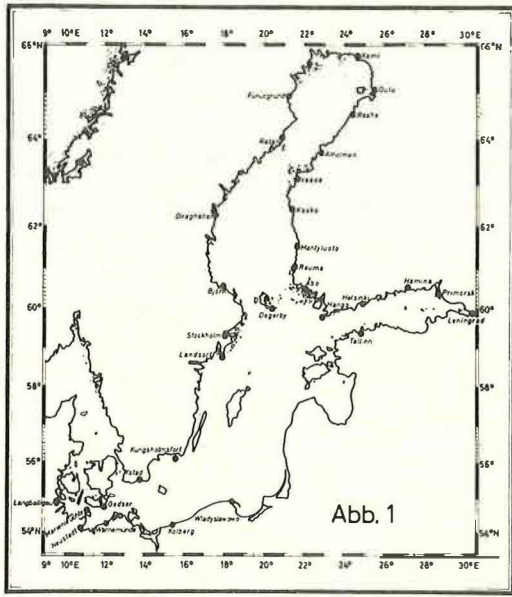


Abb. 2-4

Abb. 5-7

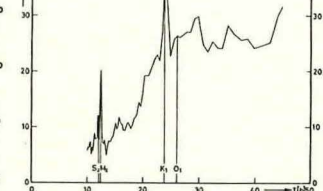
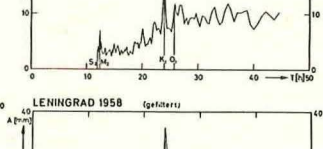


Abb. 8-16

Tafel 1 (zu L. Magaard u. W. Krauß)

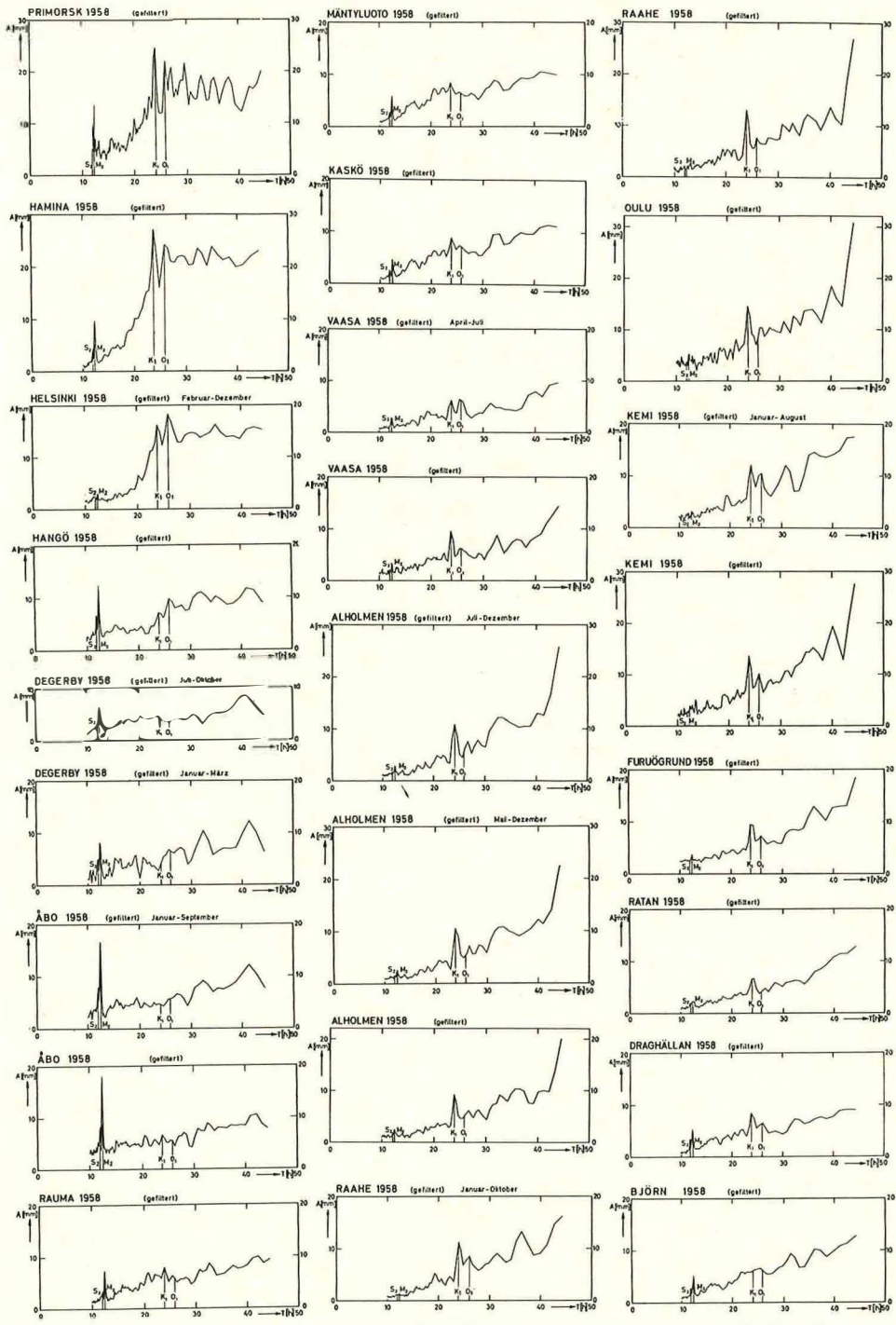


Abb.17-25

Abb.26-33

Abb.34-41

Tafel 2 (zu L. Magaard u. W. Krauß)

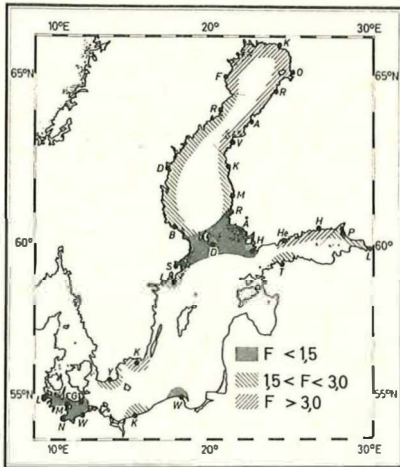


Abb.42

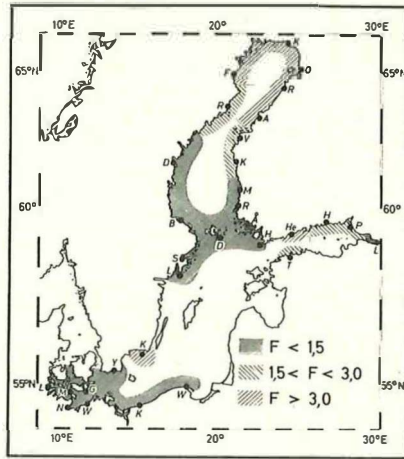


Abb.43

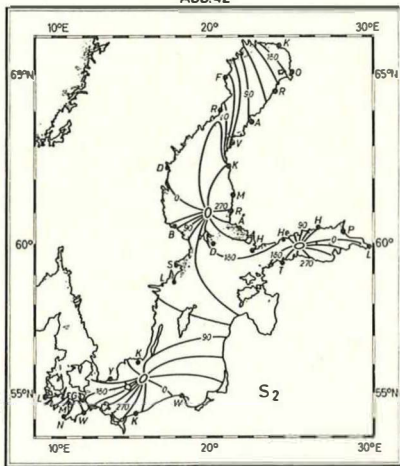


Abb.44

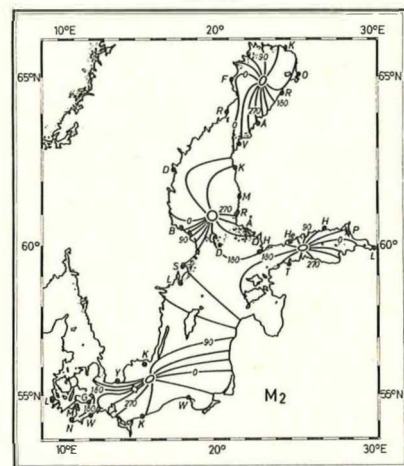


Abb.45

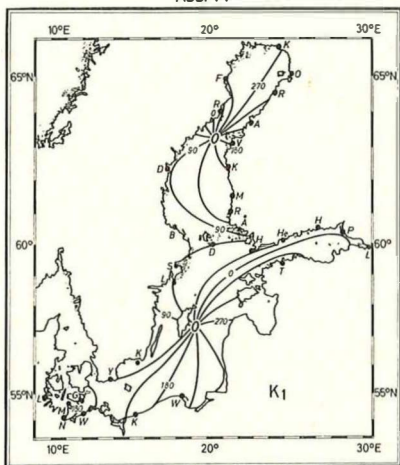


Abb.46

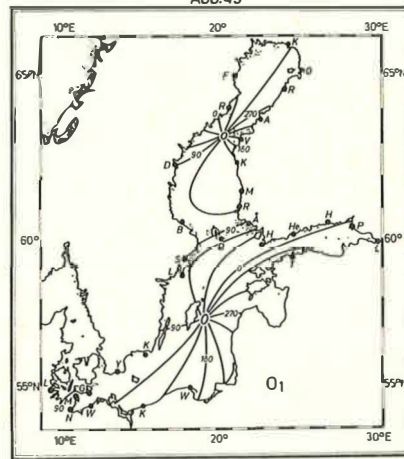


Abb.47

Tafel 3 (zu L. Magaard u. W. Krauß)

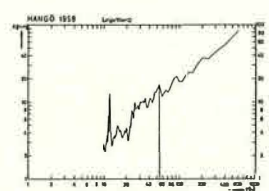
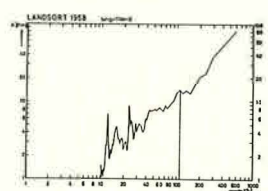
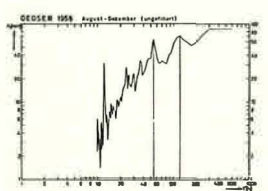
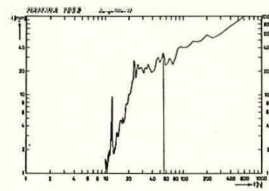
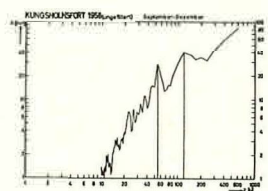
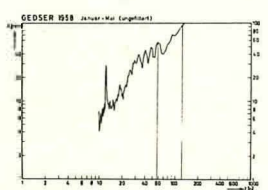
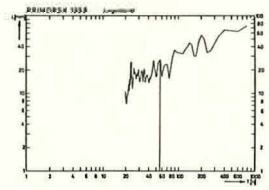
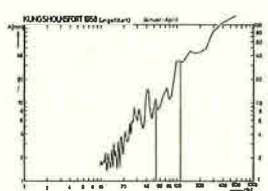
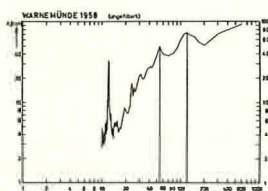
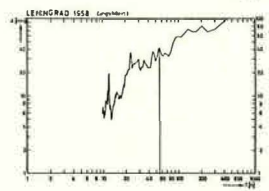
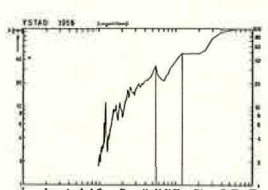
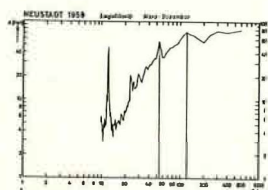
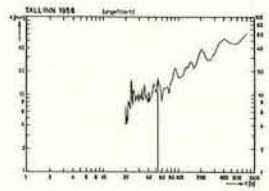
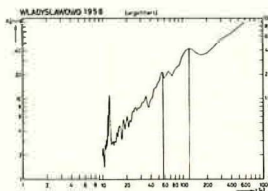
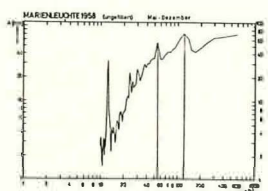
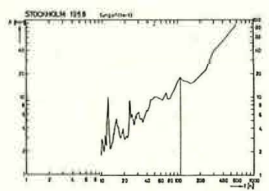
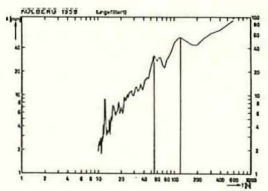
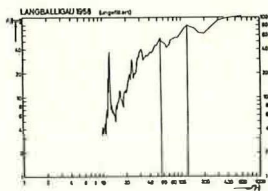


Abb. 48-53

Abb. 54-59

Abb. 60-66

Tafel 4 (zu L. Magaard u. W. Krauß)

Abb. 1 zeigt die geographische Lage der Pegelstationen. Die Daten mit  $\Delta t = 1$  h und  $\Delta t = 6$  h wurden von den zuständigen Stellen der einzelnen Ostseeländer zur Verfügung gestellt, diejenigen mit  $\Delta t = 4$  h wurden der Literatur entnommen (E. LITZIN, 1959).

### III. Die Berechnung der Spektren

Die Spektren wurden nach dem Verfahren von R. B. BLACKMAN und J. W. TUKEY (1958) berechnet, im folgenden wird auf die Darstellung dieser Methode in W. KRAUSS (1966, S. 194—203) Bezug genommen. Aus den stündlichen Wasserstandswerten wurden dreistündige Mittelwerte gebildet, so daß Meßreihen mit  $\Delta t = 3$  h,  $\Delta t = 4$  h und  $\Delta t = 6$  h entsprechend Tabelle 1 vorlagen. Die Meßreihen wurden durch übergreifende gewichtete Mittelung gefiltert (o. a. Lit., S. 181, Abschnitte a), b) und c)). Dabei war die Anzahl der Gewichtungsfaktoren  $n = 40$ ; ferner wurde  $\omega_{II} = \omega_I = \frac{\pi}{\Delta t}$  und  $\omega_{II} = \frac{2\pi}{T_{II}}$  mit  $T_{II} = 50$  h gewählt, d. h., als Spektralfilter wurde ein Rechteckfilter mit einem Durchlaßbereich von  $2 \Delta t$  bis 50 h verwendet. Für jede gefilterte und ungefilterte Meßreihe wurde entsprechend o. a. Lit., S. 197 und 198, Gleichungen (17), (18) und (20), die Autokorrelationsfunktion  $R_m$ , die Intensitätsdichte  $L_m$  und die geglättete Intensitätsdichte  $U_m$  berechnet. Von  $U_m$  wurde zur Amplitude  $A_m = \sqrt{U_m \Delta \omega}$  mit  $\Delta \omega = \frac{\pi}{N' \Delta t}$  übergegangen und diese über einer Periodenskala dargestellt. In allen Fällen wurde  $N' = 200$  gewählt. Dadurch ergibt sich für eine ganzjährige Meßreihe mit  $\Delta t = 3$  h als Anzahl der Freiheitsgrade  $k \approx 29$ .

Für benachbarte Pegelstationen wurden ferner unter Benutzung der gefilterten Meßreihen die Querkorrelationsfunktionen  $Q_v$  und  $Q'_v$  (o. a. Lit., S. 191, Gleichungen (23) und (24)) die Co- und Quadratur-Spektren  $Z_m$  und  $W_m$ , die geglätteten Co- und Quadratur-Spektren  $\bar{Z}_m$  und  $\bar{W}_m$  sowie die Phasendifferenz  $\Theta_m$  und die Kohärenz  $\bar{\kappa}_m$  berechnet (o. a. Lit., S. 202—203, Gleichungen (47) bis (52)). Auch hier wurde  $N' = 200$  gewählt.

### IV. Diskussion der Spektren der gefilterten Meßreihen

Die Spektren sind in den Abb. 2—41 wiedergegeben. Überraschenderweise zeigt sich, daß die Seiches in den Spektren nur unbedeutend hervortreten. An den bekannten Seichesperioden (vgl. W. KRAUSS und L. MAGAARD, 1962) übersteigen die Amplituden das Niveau der Umgebung nicht wesentlich. Deutliche Maxima ergeben sich dagegen bei den Perioden der Partialzeiten  $S_2$  (12,00 h),  $M_2$  (12,42 h),  $K_1$  (23,93 h) und  $O_1$  (25,82 h), die daher im folgenden näher betrachtet werden sollen. Auf ein häufig im Bereich von etwa 30 h auftretendes Maximum wird unter V eingegangen.

#### Legende zu den nebenstehenden Abbildungen (Tafel 3)

- Abb. 42: Geographische Verteilung der Formzahlen  $\bar{F}$ .
- Abb. 43: Geographische Verteilung der Formzahlen  $F^*$ .
- Abb. 44: Flutstundenlinien der  $S_2$ -Tide.
- Abb. 45: Flutstundenlinien der  $M_2$ -Tide.
- Abb. 46: Flutstundenlinien der  $K_1$ -Tide.
- Abb. 47: Flutstundenlinien der  $O_1$ -Tide.

#### Legende zu den nebenstehenden Abbildungen (Tafel 4)

- Abb. 48—66: Ungefilterte Spektren, Darstellung der Amplitude über der Periode.



## Die Gezeiten der Ostsee

Aus den Spektren wurden die Amplitudenwerte  $S_2$ ,  $M_2$ ,  $K_1$  und  $O_1$  für die vier Partialgezeiten entnommen (die Symbole  $S_2$ , ... stehen hier für die Amplituden selbst). Hieraus wurden die zugehörigen Mittelwerte (harmonische Amplitudenkonstanten) gemäß  $\bar{S}_2 = \frac{1}{f} S_2$ ,  $\bar{M}_2 = \frac{1}{f} M_2$ ,  $\bar{K}_1 = \frac{1}{f} K_1$ ,  $\bar{O}_1 = \frac{1}{f} O_1$  ermittelt, wobei der Faktor  $f$  für das Jahr 1958 die Werte 0,998 für die  $S_2$ -, 1,034 für die  $M_2$ -, 0,899 für die  $K_1$ -, 0,832 für die  $O_1$ -Tide annimmt (siehe z. B. in den Gezeitentafeln des Deutschen Hydrographischen Instituts für das Jahr 1958). Um einen Einblick zu gewinnen, inwieweit sich die Energie der Gezeiten aus der Energie des meteorologisch bedingten Spektralniveaus heraushebt, wurde in den hier nicht dargestellten Energiespektren  $U_m$  für die Gezeitenperioden die mittlere Energie der Umgebung,  $E_U$ , näherungsweise festgelegt und die Energiedifferenz  $E_D$  zwischen der Gesamtenergie  $E_G$  und  $E_U$  bestimmt:  $E_D = E_G - E_U$ .

Der Ausdruck  $\sqrt{E_D \cdot \Delta \omega}$  ist ein Maß für die Amplituden, die die Gezeiten bei Abwesenheit des meteorologischen Geräusches haben würden und wird für die betrachteten Gezeiten als  $S^*_2$ ,  $M^*_2$ ,  $K^*_1$  und  $O^*_1$  bezeichnet. In Tabelle 2 sind die Werte  $\bar{S}_2$ ,  $\bar{M}_2$ ,  $K_1$ ,  $O_1$  sowie  $S^*_2$ ,  $M^*_2$ ,  $K^*_1$ ,  $O^*_1$  für alle Stationen angegeben. Für Stationen mit mehreren Meßreihen wurden die Resultate der längsten Meßreihe in die Tabelle aufgenommen; lagen zwei Meßreihen gleicher Länge vor, so wurde das arithmetische Mittel der entsprechenden Amplituden gebildet. In Tabelle 2 sind ferner für jede Station der Intensitätsindex  $\bar{I} = \bar{S}_2 + \bar{M}_2 + \bar{K}_1 + \bar{O}_1$  und die Formzahl  $\bar{F} = \frac{\bar{K}_1 + \bar{O}_1}{\bar{S}_2 + \bar{M}_2}$  (vgl. G. DIETRICH und K. KALLE, 1957) sowie die entsprechenden Größen mit Stern angegeben.

Tabelle 2  
Gezeitenamplituden (in mm) sowie Intensitätsindizes (in mm)  
und Formzahlen

Nr. Pegel	$\bar{S}_2$	$S^*_2$	$M_2$	$M^*_2$	$K_1$	$K^*_1$	$O_1$	$O^*_1$	$\bar{I}$	$I^*$	F	$F^*$
Langballigau	16,3	16,0	36,4	37,0	33,5	25,0	24,6	5,5	111	84	1,1	0,6
2 Marienleuchte	5,5	4,5	30,4	31,0	25,9	20,5	21,0	11,5	83	68	1,3	0,9
3 Neustadt	10,2	9,5	44,9	46,0	23,5	18,5	22,4	13,5	101	88	0,8	0,6
4 Warnemünde	10,0	9,0	33,3	34,0	19,6	14,5	19,6	10,0	83	68	0,9	0,6
5 Gedser	9,1	7,5	30,8	31,5	27,3	19,5	28,8	16,5	96	75	1,4	0,9
6 Kolberg	4,2	3,0	9,5	9,0	9,9	4,5	12,4	5,5	36	22	1,6	0,8
7 Wladyslawowo	6,1	5,5	10,8	11,0	7,3	3,0	9,1	4,0	33	24	1,0	0,4
8 Ystad	6,4	5,5	11,3	11,0	18,8	12,5	21,5	12,5	58	42	2,3	1,5
9 Kungsholmsfort	1,2	0,5	1,2	0,5	6,0	4,0	7,2	3,5	16	9	5,5	7,5
10 Landsort	2,9	2,5	6,6	6,5	9,1	7,5	6,4	4,0	25	21	1,6	1,3
11 Stockholm	4,7	4,0	9,6	9,5	9,6	8,0	7,5	4,5	31	26	1,2	0,9

Legende zu den nebenstehenden Abbildungen (Tafel 5)  
Abb. 67—87: Ungefilterte Spektren, Darstellung der Amplitude über der Periode.

Legende zu der nebenstehenden Abbildung (Tafel 6)  
Abb. 88: Wasserstandsregistrierungen der ersten Klasse.

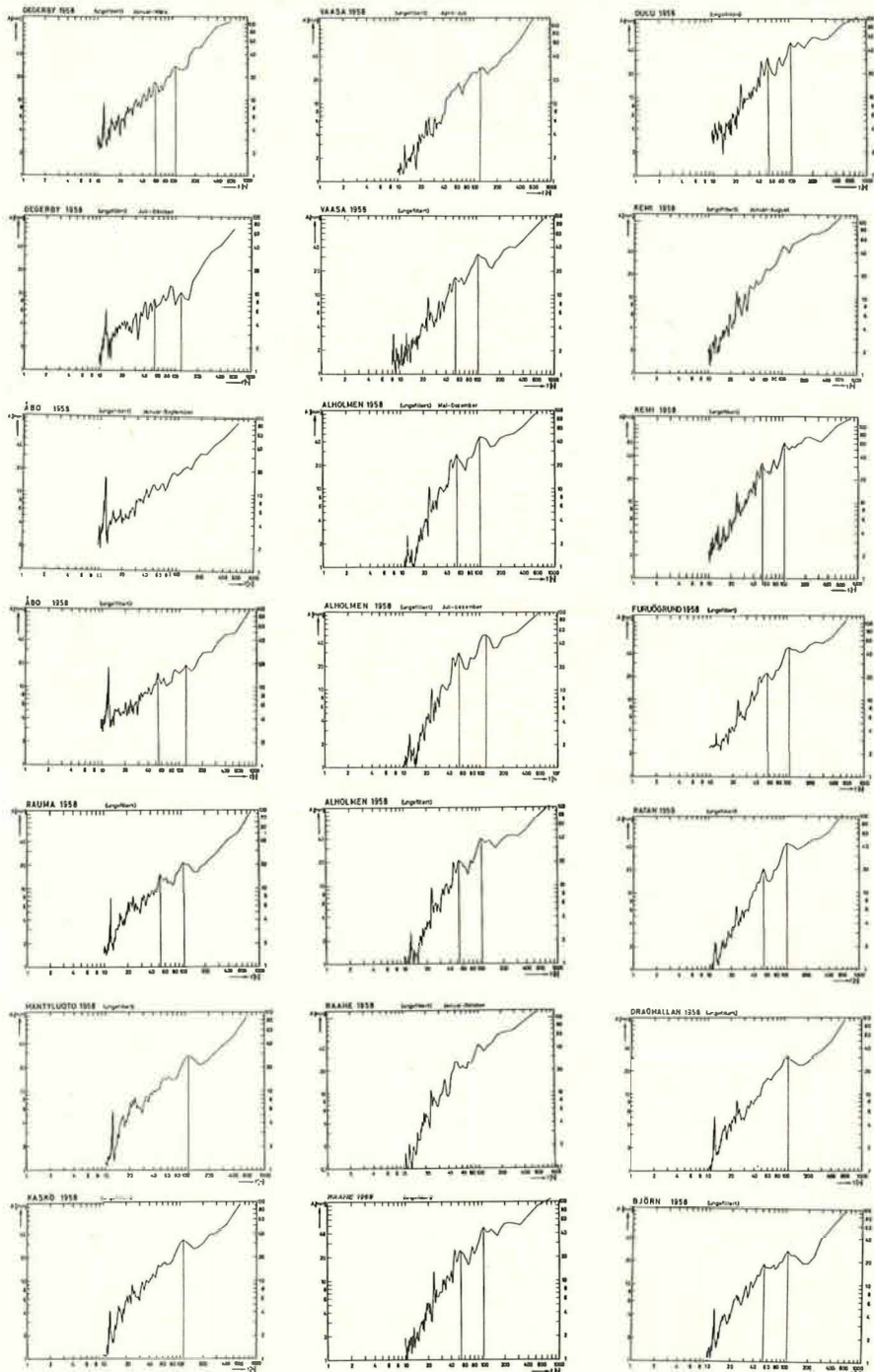


Abb.67-73

Abb.74-80

Abb.81-87

Tafel 5 (zu L. Magaard u. W. Krauß)

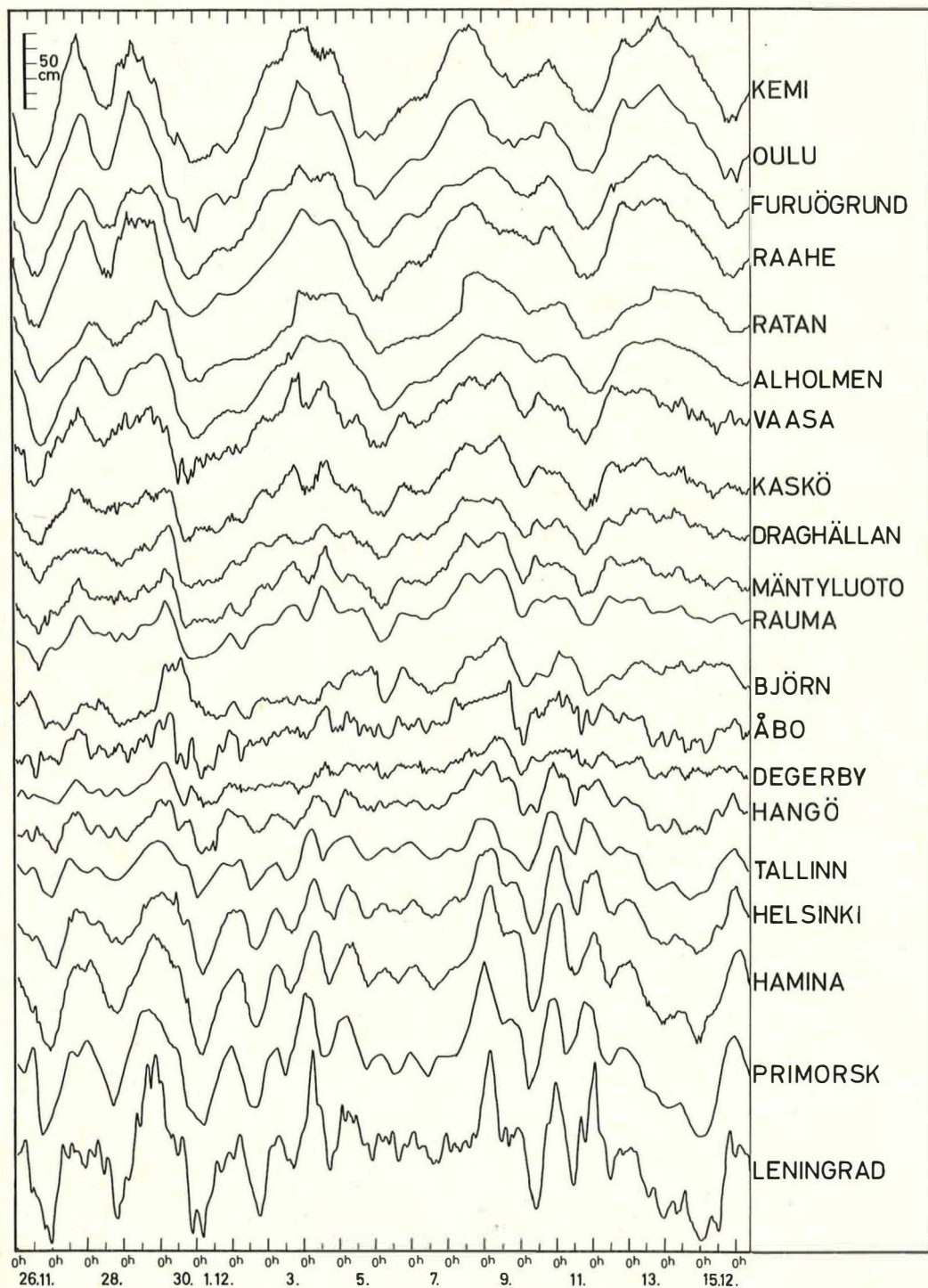


Abb.88

Tafel 6 (zu L. Magaard u. W. Krauß).

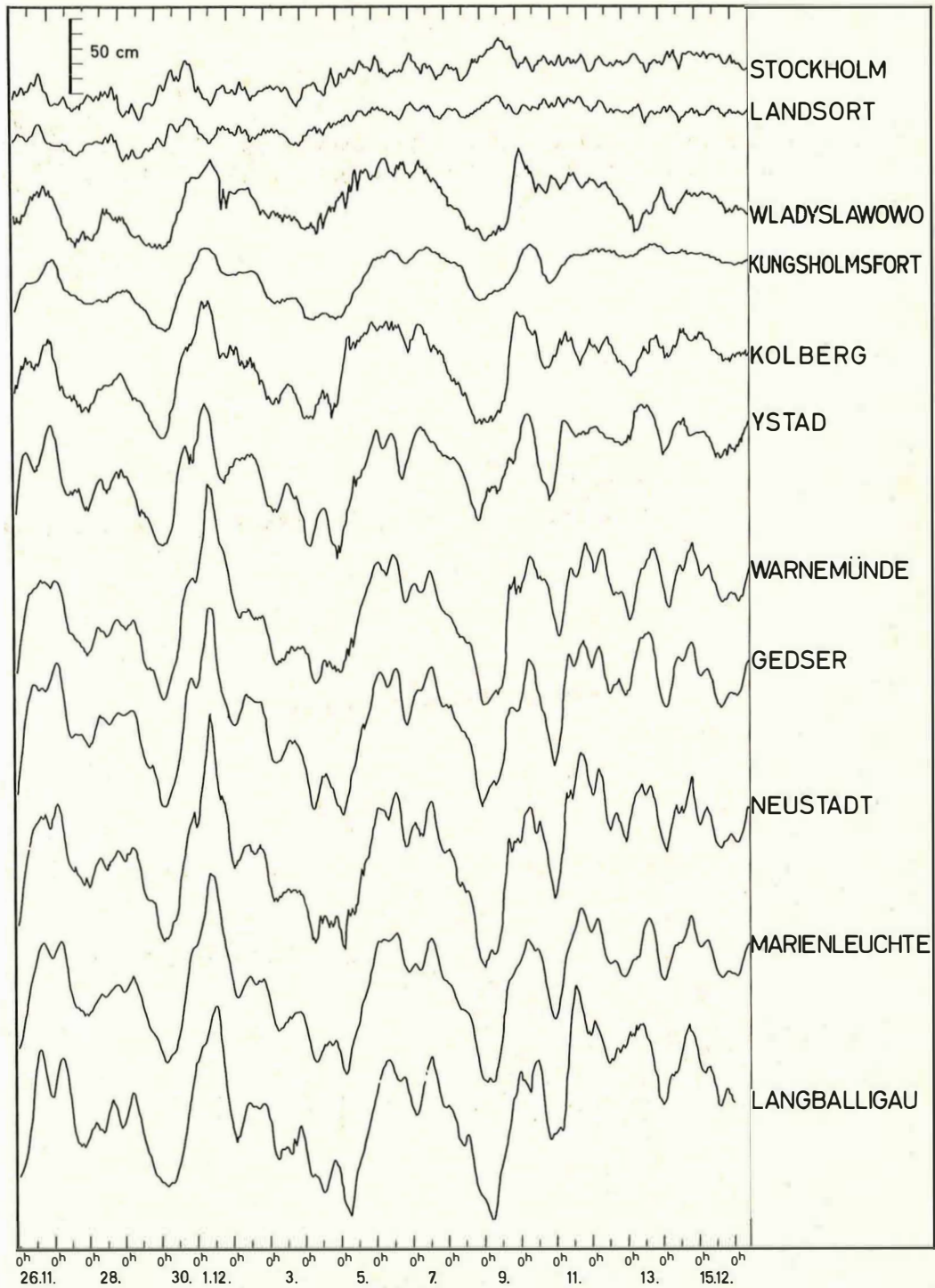


Abb.89

Tafel 7 (zu L. Magaard u. W. Krauß)

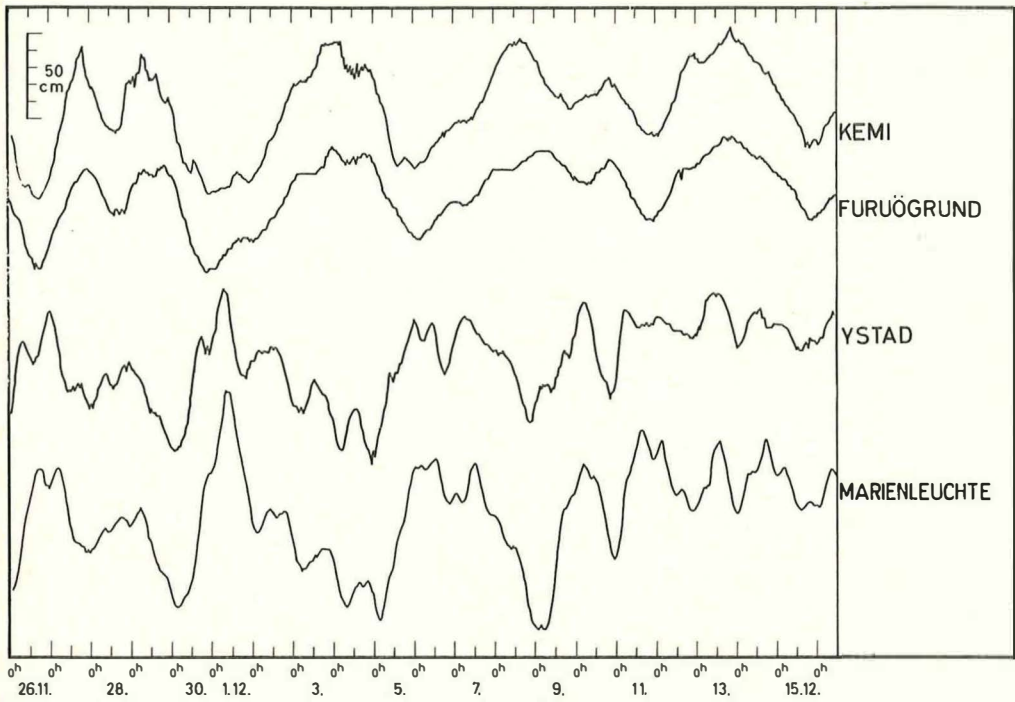


Abb. 90

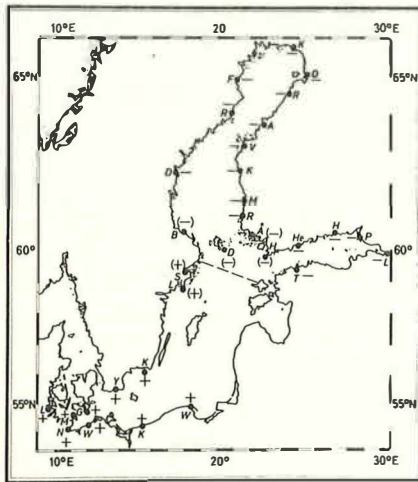


Abb. 91

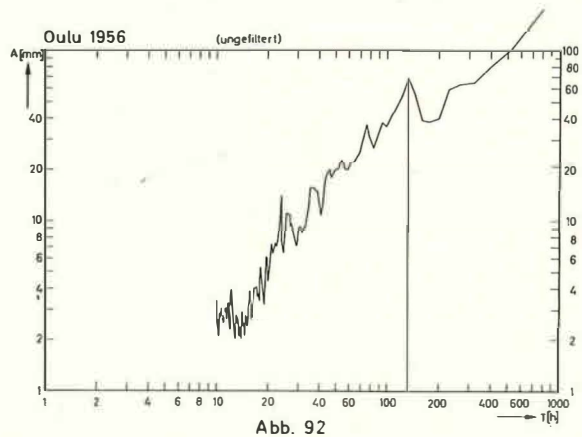


Abb. 92

Tafel 8 (zu L. Magaard u. W. Krauß)

Tabelle 2 (Fortsetzung)

12 Tallinn	4,0	3,5	6,8	6,5	15,7	12,5	14,2	9,5	41	32	2,8	2,2
13 Leningrad	12,2	10,0	19,4	19,0	41,4	30,0	31,7	10,0	105	69	2,3	1,4
14 Primorsk	9,8	9,0	13,2	13,0	27,5	21,5	26,4	17,0	77	61	2,3	1,8
15 Hamina	4,3	4,0	9,5	9,5	30,1	22,5	29,2	17,0	73	53	4,3	2,9
16 Helsinki	2,3	1,5	3,2	3,0	18,1	14,0	22,0	15,5	46	34	7,3	6,6
17 Hangö	6,9	6,5	12,1	12,0	7,9	5,0	11,8	8,0	39	32	1,0	0,7
18 Degeberby	2,7	2,0	6,1	6,0	5,0	2,5	4,7	0	19	11	1,1	0,3
19 Åbo . .	8,4	7,5	17,6	18,0	7,3	4,0	6,6	1,5	40	31	0,5	0,2
20 Rauma	3,3	3,0	7,3	7,5	8,8	5,5	7,0	1,5	26	18	1,5	0,7
21 Mäntyluoto	2,8	2,5	5,6	5,5	9,5	5,5	7,6	0	26	14	2,0	0,7
22 Kaskö .	2,5	2,0	4,4	4,5	9,9	6,5	8,5	4,0	25	17	2,7	1,6
23 Vaasa .	2,2	1,5	3,3	3,0	10,8	8,5	7,5	4,0	24	17	3,3	2,8
24 Alholmen	1,8	1,5	2,4	2,0	10,2	8,5	6,3	3,5	21	16	3,9	3,4
25 Raahé .	1,8	1,0	1,9	1,0	14,6	12,0	9,1	5,0	27	19	6,4	8,5
26 Oulu	3,7	1,0	4,8	3,5	16,4	13,0	9,9	3,5	35	21	3,1	3,7
27 Kemi	2,7	1,0	3,9	3,0	15,1	12,5	12,3	7,5	34	24	4,2	5,0
28 Furuögrund	2,7	1,0	3,6	2,5	10,6	8,0	8,8	5,0	26	17	3,1	3,7
29 Ratan .	2,0	1,5	2,4	2,0	7,5	5,5	5,3	0	17	9	2,9	1,6
30 Draghallan	3,6	3,5	5,0	5,0	9,2	7,0	7,8	4,5	26	20	2,0	1,4
31 Björn	2,8	2,5	4,8	5,0	6,6	2,5	7,5	2,5	22	13	1,9	0,7

Die geographische Verteilung der Formzahlen  $\bar{F}$  und  $F^*$  ist in Abb. 42 und 43 dargestellt.

In Tabelle 3 sind die Phasendifferenzen und Kohärenzen der vier Partialzeiten zwischen benachbarten Stationen zusammengestellt. Eine Phasendifferenz  $\Delta \varphi$  zwischen zwei Stationen mit den laufenden Nummern  $n$  und  $m$  wird durch  $\Delta \varphi (m)$  in der Zeile  $n$  wiedergegeben. Dabei wurde im Falle mehrerer Meßreihen an zwei Stationen das Resultat der Rechnungen mit dem längsten Meßreihenpaar in die Tabelle aufgenommen, während im Falle gleichlanger Meßreihenpaare das arithmetische Mittel aus den Einzelergebnissen gebildet wurde. Hinter den Phasendifferenzen stehen die zugehörigen Werte für die Kohärenz.

Tabelle 3

Phasendifferenzen und Kohärenzen für die  $S_2$ -,  $M_2$ -,  $K_1$ -,  $O_1$ -Tide an benachbarten Stationen

Nr. Pegel	$S_2$		$M_2$		$K_1$		$O_1$	
	$\Delta \varphi [^\circ]$	K	$\Delta \varphi [^\circ]$	K	$\Delta \varphi [^\circ]$	K	$\Delta \varphi [^\circ]$	K
1 Langballigau .	66 (2)	0,74	28 (2)	0,97			4 (2)	0,94
2 Marienleuchte	33 (3)	0,93	14 (3)	1,00	9 (1)	0,97	2 (3)	0,98
	62 (5)	0,68	24 (5)	0,99			1 (5)	0,93
3 Neustadt	19 (4)	0,95	17 (4)	0,99	12 (2)	0,99	10 (4)	0,94
					14 (4)	0,99		
4 Warnemünde	167 (6)	0,85	176 (6)	0,96			26 (6)	0,51
5 Gedser					23 (2)	0,97		

Legende zu der nebenstehenden Abbildung (Tafel 7)

Abb. 89: Wasserstandsregistrierungen der zweiten Klasse.

Legende zu den nebenstehenden Abbildungen (Tafel 8)

Abb. 90: Wasserstandsregistrierungen der ersten und zweiten Klasse.

Abb. 91: Geographische Verteilung der Phasen der ersten Klasse (+ Zeichen) und zweiten Klasse (— Zeichen).

Abb. 92: Ungefiltertes Spektrum von Oulu für das Jahr 1956.

Tabelle 3 (Fortsetzung)

6 Kolberg .	42 (7)	0,83	13 (7)	0,95	29 (4)	0,71	24 (7)	0,65
					44 (7)	0,54		
7 Wladyslawowo	178 (12)	0,74	260 (12)	0,88	110 (12)	0,55	155 (12)	0,73
8 Ystad	46 (5)	0,94	22 (5)	0,96	47 (5)	0,96	17 (5)	0,89
	176 (6)	0,75	192 (6)	0,89	34 (6)	0,64	9 (6)	0,66
							33 (9)	0,80
9 Kungsholmsfort .	16 (8)	0,50	17 (8)	0,69	3 (8)	0,77	108 (10)	0,33
	143 (10)	0,32	36 (10)	0,66				
10 Landsort			1 (11)	0,98	95 (9)	0,87		
11 Stockholm	10 (10)	0,87	22 (18)	0,95	7 (10)	0,90	13 (10)	0,90
	44 (18)	0,82			18 (18)	0,71	14 (18)	0,69
12 Talinn	181 (13)	0,63	162 (13)	0,75	40 (13)	0,93	14 (13)	0,91
13 Leningrad								
	1 (14)	0,39						
14 Primorsk	2 (15)	0,86	35 (13)	0,89	24 (13)	0,94	9 (13)	0,91
			33 (15)	0,94	16 (15)	0,98	12 (15)	0,97
15 Hamina	165 (16)	0,81	101 (16)	0,78	9 (16)	0,95	9 (16)	0,98
16 Helsinki			34 (17)	0,81	23 (17)	0,91	1 (17)	0,96
17 Hangö	15 (18)	0,87						
	14 (16)	0,91	36 (19)	1,00	38 (19)	0,47	53 (19)	0,71
	36 (19)	0,99	10 (18)	0,97	28 (18)	0,90	61 (18)	0,60
18 Degerby							36 (31)	0,56
19 Åbo . . .	59 (20)	0,85	58 (20)	0,96	31 (20)	0,83	52 (20)	0,63
	62 (21)	0,91	58 (21)	0,98	37 (21)	0,60	49 (21)	0,90
20 Rauma	0 (21)	0,87	3 (21)	0,97			5 (21)	0,95
21 Mäntyluoto	16 (22)	0,85	18 (22)	0,96	3 (20)	0,96	9 (22)	0,96
					4 (22)	0,96		
22 Kaskö .	139 (23)	0,51	82 (23)	0,95	28 (23)	0,78	71 (23)	0,80
23 Vaasa					38 (24)	0,93	55 (24)	0,64
24 Allholmen	15 (23)	0,82	1 (23)	0,90				
	36 (25)	0,14					0 (25)	0,73
25 Raahe .	56 (27)	0,36	107 (24)	0,27	1 (24)	0,88	22 (26)	0,77
	31 (26)	0,15	16 (26)	0,48	15 (27)	0,95	10 (27)	0,96
					1 (26)	0,84		
26 Oulu	6 (27)	0,42						
27 Kemi			4 (25)	0,67	25 (28)	0,88	14 (28)	0,83
			29 (26)	0,66	15 (26)	0,90	15 (26)	0,84
28 Furuögrund	164 (27)	0,46	127 (27)	0,71	50 (29)	0,89	23 (29)	0,73
29 Ratan	57 (28)	0,65	14 (28)	0,70	114 (30)	0,69	108 (30)	0,42
	29 (30)	0,64						
30 Draghällan	43 (31)	0,82	12 (29)	0,61			10 (31)	0,67
			25 (31)	0,92				
31 Björn	143 (18)	0,73	148 (18)	0,96	4 (30)	0,79		
					6 (18)	0,71		

In den Abb. 44—47 ist versucht worden, eine Darstellung der Flutstundenlinien der einzelnen Partialgezeiten zu geben. Die Absolutwerte für die Phasen beziehen sich auf den 0°-Meridian und wurden so gewählt, daß unter Benutzung der Phasendifferenzen aus Tabelle 3 die Darstellungen von R. WITTING (1911), A. DEFANT (1960) sowie die Zahlenangaben von E. LISITZIN (1943, 1944, 1951) möglichst gut approximiert wurden. Die Phasendifferenzen aus Tabelle 3 führen zu widerspruchsfreien Flutstundenlinienbildern, wenn man folgende Werte unberücksichtigt läßt: Für die S<sub>2</sub>-Tide Kungsholms-

## Legende zu den nebenstehenden Abbildungen (Tafel 9)

Abb. 93: Luftdruckverteilung an verschiedenen Stationen.

Abb. 94: Luftdruck- und Windverteilung für das FS „Fehmarnbelt“ sowie Wasserstandswerte von Marienleuchte.

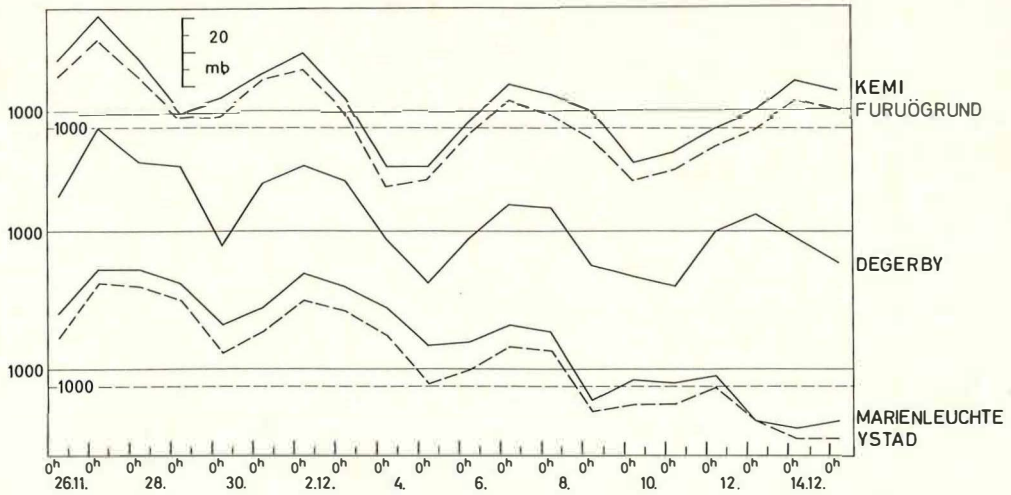


Abb. 93

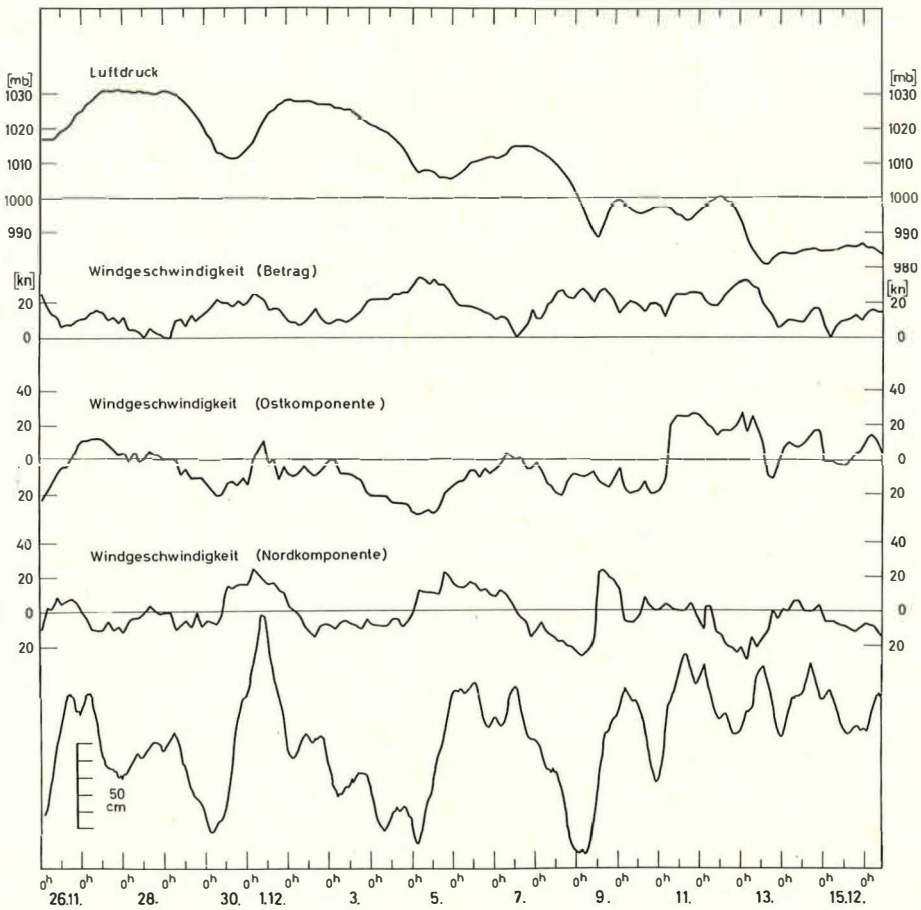


Abb. 94

Tafel 9 (zu L. Magaard u. W. Krauß)



fort-Landsort, Hangö-Helsinki, Alholmen-Vaasa; für die  $M_2$ -Tide Warnemünde-Kolberg, Vaasa-Alholmen; für die  $K_1$ -Tide Neustadt-Warnemünde, Landsort-Kungsholmsfort, Raahe-Alholmen, Björn-Degerby; für die  $O_1$ -Tide Ystad-Kungsholmsfort, Kungsholmsfort-Landsort, Alholmen-Raahe. Dazu ist zu bemerken, daß die Phasenberechnung wegen der kleinen Amplituden generell mit relativ großen Fehlern behaftet ist. Die Unstimmigkeiten konzentrieren sich im wesentlichen auf zwei Bereiche: Kungsholmsfort und Vaasa-Alholmen-Raahe. Als Begründung dafür kann angeführt werden, daß die fehlerhaften Werte aus besonders kurzen Meßreihen resultieren und daß darüber hinaus alle Amplituden bei Kungsholmsfort und die Amplituden der halbtägigen Gezeiten bei Vaasa-Alholmen-Raahe besonders klein sind.

Unsere Flutstundenlinienbilder weisen gegenüber den Darstellungen von R. WITTING (1911) und A. DEFANT (1960), der die Resultate von E. LISITZIN (1943, 1944, 1951) nicht berücksichtigte, außer geringfügigen Verschiebungen folgende Abweichungen bzw. Ergänzungen auf: Die  $S_2$ -Tide hat nördlich der Ålandsinseln eine linksdrehende Amphidromie wie die  $M_2$ -Tide, in der Bottenwiek finden wir keine Amphidromie. Die  $M_2$ -Tide hat in der Bottenwiek eine rechtsdrehende Amphidromie. Die  $K_1$  und  $O_1$ -Tide haben in der Bottensee eine linksdrehende Amphidromie. Unsere Resultate stehen im wesentlichen mit den Zahlenangaben von E. LISITZIN in Einklang mit der Ausnahme, daß E. LISITZIN für die  $S_2$ -Tide wie für die  $M_2$ -Tide in der Bottenwiek eine rechtsdrehende Amphidromie findet.

#### V. Diskussion der ungefilterten Meßreihen

Die Spektren sind in den Abbildungen 48—87 wiedergegeben. In allen Spektren ganzjähriger Meßreihen mit Ausnahme derjenigen aus dem Finnischen Meerbusen tritt ein Maximum zwischen 110 h und 120 h sowie ein weiteres zwischen 50 h und 60 h auf. Um Anhaltspunkte für eine Deutung dieser Maxima zu finden, wurde nach speziellen Situationen gesucht, in denen der Wasserstand weitgehend durch eine Periodizität mit einer Periode von etwa 120 h beschrieben werden kann. Eine solche Situation wurde für den Zeitraum vom 26. 11. 58 bis gegen Mitte Dezember 1958 gefunden. Die Pegelstationen können in zwei Klassen eingeteilt werden, derart daß die Periodizität an Stationen derselben Klasse nahezu dieselbe Phase hat, während zwischen Stationen verschiedener Klassen eine Phasendifferenz von etwa  $180^\circ$  besteht. Die Abb. 88 und 89 zeigen die Registrierungen je einer Klasse, Abb. 90 läßt die Phasendifferenz von etwa  $180^\circ$  zwischen Stationen verschiedener Klassen erkennen. In Abb. 91 ist die geographische Verteilung der Phasen dargestellt. Danach ergibt sich das Bild einer stehenden Welle mit einer Knotenlinie. Die Maxima in den Spektren zwischen 50 h und 60 h und bei 30 h werden als Oberschwingungen dieser Periodizität angesehen.

Das Auftreten von Periodizitäten mit Perioden im Bereich von 110 h bis 130 h ist in der Ostsee keine Seltenheit. Abb. 92 zeigt als weiteres Beispiel ein ungefiltertes Spektrum der Wasserstandsschwankungen von Oulu für das Jahr 1956, berechnet nach Wasserstandswerten von E. LISITZIN (1958). Da die Perioden der Eigenschwingungen der Ostsee kleiner als 40 h sind (vgl. W. KRAUSS und L. MAGAARD, 1962), kann es sich bei der beobachteten Periodizität im November/Dezember 1958 nicht um eine Eigenschwingung handeln; vielmehr muß eine erzwungene Schwingung vorliegen. Als Ursache kommen Luftdruckschwankungen und Wind in Frage. Abb. 93 zeigt den Luftdruckverlauf in der betreffenden Zeit an ausgewählten Stationen. Daraus geht hervor, daß die Luftdruckdifferenzen zwischen nördlichen und südlichen Stationen der Ostseeküste höchstens 20 mb, meistens jedoch bedeutend geringer sind. Auf Luftdruckschwankungen, deren Perioden soweit außerhalb des Bereiches der Eigenschwingungen des schwingungsfähigen Systems liegen, reagiert das System nahezu statisch, so daß Wasserstandsschwankungen von 20 cm

oder weniger resultieren. Die periodischen Schwankungen, die hier betrachtet werden, haben jedoch eine Größenordnung von 100 cm und können also nicht durch die Luftdruckschwankungen erzeugt sein. Es verbleibt nur der Wind als Ursache. Abb. 94 zeigt die Windverteilung in der betreffenden Zeit für das Feuerschiff „Fehmarnbelt“ sowie die Wasserstandswerte von der nahegelegenen Station Marienleuchte. Die Extrema des Wasserstandes lassen sich ohne weiteres den Extrema der Nordkomponente des Windes zuordnen. Berechnungen über den Zusammenhang zwischen Windstärke und Wasserstand wurden dazu bisher nicht angestellt.

Allen Instituten und Behörden, die uns Beobachtungsmaterial für die vorliegende Arbeit zur Verfügung gestellt haben, sei an dieser Stelle nochmals für ihre großzügige Unterstützung gedankt.

#### Literaturverzeichnis

- BLACKMAN, R. B. and J. W. TUKEY (1958): The measurement of powerspectra. Dover Publ., New York.  
— DEFANT, A. (1960): Physical Oceanography, Vol. II, Pergamon Press Oxford, S. 375—376. — Deutsches Hydrographisches Institut Hamburg (1957): Gezeitentafeln für das Jahr 1958, Bd. II, S. 147. — DIETRICH, G. und K. KALLE (1957): Allgemeine Meereskunde. Borntraeger Berlin, S. 359 bis 362. — HAUBRICH, R. JR. und W. MUNK (1959): The pole tide. J. Geophys. Res. 64, 2373—2388. — KRAUSS, W. und L. MAGAARD (1962): Zum System der Eigenschwingungen der Ostsee. Kieler Meeresforsch. 18, 184—186. — KRAUSS, W. (1966): Methoden und Ergebnisse der Theoretischen Ozeanographie, Bd. II. Interne Wellen. Borntraeger Berlin. — LISITZIN, E. (1943): Die Gezeiten des Bottnischen Meerbusens. Fennia 67, N:o 4. — LISITZIN, E. (1944): Die Gezeiten des Finnischen Meerbusens. Fennia 68, N:o 2. — LISITZIN, E. (1951): A brief report on the scientific results of the hydrological expedition to the Archipelago and Åland Sea in the year 1922. Fennia 73, N:o 4. — LISITZIN, E. (1958): Water level records for the years 1955 and 1956. Havsforskn.-Inst. Skrift N:o 180. — LISITZIN, E. (1959): Water level records for the year 1958. Havsforskn.-Inst. Skrift N:o 189. — MAXIMOV, I. V. and V. P. KARKLIN (1965): Polar tide in the Baltic Sea (russ.). Dokl. Akad. Nauk SSSR 161, 580—582. — WITTING, R. (1911): Tidvattnen i Östersjön och Finska Viken. Fennia 29, N:o 2.