

Deutscher Wetterdienst
SEEWETTERAMT

Einzelveröffentlichungen
Nr. 17

Statistik der Meereswellen in der Nordsee

(auf Grund von Beobachtungen
der Bordwetterwarten des Deutschen Wetterdienstes)

In der Abteilung Maritime Meteorologie
bearbeitet von O. Petri,

Hamburg
1958

EINZELVERÖFFENTLICHUNGEN des Seewetteramtes

	<i>DM</i>		<i>DM</i>
Nr. 1 (1953): Höhe, Länge und Steilheit der Meereswellen im Nordatlantik (H. U. Roll)	3,50	Nr. 9 (1956): Laderaum-Meteorologie. Vorträge auf der Arbeitstagung am 20. Juni 1956 in Hamburg	3,00
Nr. 2 (1952, Nachdruck 1953): Die Nebelverhältnisse der Unterelbe im Jahrzehnt 1939–1948 (G. Hartenstein und H. Markgraf)	2,00	Nr. 10 (1956): Klimatologie der Nordwesteuropäischen Gewässer Teil 3: Lufttemperatur, Bewölkung, Niederschlag, Nebel. Tabellen-Anhang zu den Teilen 1 bis 3 (H. Markgraf u. P. Bintig)	12,50
Nr. 3 (1954): Die Nebelverhältnisse im Küstengebiet der Weser- und Emsmündung (P. Bintig und H. Markgraf)	2,00	Nr. 11 (1956): Beiträge zur Klimakunde Südwest-Arabiens. Das Klima von Sana. Das Klima von Jemen (C. Rathjens sen., C. Rathjens jun., E. Samlenski und G. Kerner)	2,50
Nr. 4 (1954): Klimatologie der Nordwesteuropäischen Gewässer Teil 1: Temperatur des Oberflächenwassers und Temperatur-Differenz Luft–Wasser (H. J. Bullig und P. Bintig) Teil 2: Windverhältnisse (H. Markgraf und P. Bintig)	7,00	Nr. 12 (1957): Sturmweatherlagen bei Island 1950–1954 (H. O. Mertins)	3,50
Nr. 5 (1954): Atlas der Monatswerte von Wassertemperatur, Wind und Bewölkung auf dem Seeweg Europa–Südamerika (H. J. Bullig)	12,00	Nr. 13 (1957): Meteorologische Beobachtungen der deutschen Feuerschiffe der Nord- und Ostsee (Bundesrepublik) 1953	10,00
Nr. 6 (1954): Die Größe der Meereswellen in Abhängigkeit von der Windstärke (H. U. Roll)	5,00	Nr. 14 (1957): Nebel in der Deutschen Bucht A: Das Nebelvorkommen bei den Feuerschiffen (P. Bintig) B: Synoptisch-aerologische Untersuchungen verbreiteter Dauernebel der südlichen Nordsee (H. Markgraf)	3,50
Nr. 7 (1955): Die vorherrschenden Winde auf dem Atlantischen Ozean im Januar und Juli nach Beobachtungen deutscher Schiffe aus dem Zeitraum 1925–1939 (H. Markgraf)	3,50	Nr. 15 (1957): Meteorologische Beobachtungen der deutschen Feuerschiffe der Nord- und Ostsee (Bundesrepublik) 1954	10,00
Nr. 8 (1956): Die Meereswellen in der südlichen Nordsee (H. U. Roll)	5,00	Nr. 16 (1958): Zur Niederschlagsmessung auf See: Ergebnisse von Vergleichsmessungen auf Feuerschiffen und benachbarten Inseln (H. U. Roll)	1,30
		Nr. 17 (1958) Statistik der Meereswellen in der Nordsee (O. Petri)	2,50

Deutscher Wetterdienst
SEEWETTERAMT

Einzelveröffentlichungen
Nr. 17

Statistik der Meereswellen in der Nordsee

(auf Grund von Beobachtungen
der Bordwetterwarten des Deutschen Wetterdienstes)

In der Abteilung Maritime Meteorologie
bearbeitet von O. Petri

Wetteramt München
Handbücherei Nr. 3425

Hamburg
1958

Deutscher Wetterdienst
SEEWETTERAMT

Internationale Seewetterberichte

Nr. 17

Statistik der Meereswellen in der Nordsee

(auf Grund von Beobachtungen
der Bordwetterstation des Deutschen Wetterdienstes)

in der Abt. für Seewetterkunde
bearbeitet von O. T. ...

Verlag des Seewetteramtes
Hamburg, Nr. ...

Hamburg
1958

V O R W O R T

Das Seewetteramt hat in seinen Einzelveröffentlichungen Nr. 1 und 6 versucht, eine Statistik der Meereswellen im Nordatlantik auf Grund der Beobachtungen der Ozean-Wetterschiffe zu geben. Daran schloß sich in Nr. 8 eine statistische Zusammenfassung der Wellenbeobachtungen der deutschen Nordsee-Feuerschiffe, die somit die Seegangsverhältnisse in der südlichen Nordsee beschreibt. Es fehlte bisher noch eine ähnliche Darstellung für die gesamte Nordsee.

Es ist nicht leicht, diese Lücke zu schliessen, da wir - abgesehen von den küstennahen Feuerschiffen - über keine festen Wetterbeobachtungsstationen, wie etwa Wetterschiffe es sind, in der Nordsee verfügen und auch Wetterbeobachtungen solcher Schiffe, die die Nordsee durchfahren, verhältnismässig spärlich eingehen.

In den für Fischereischutz und Fischereiforschung eingesetzten Schiffen des Bundesernährungsministeriums besitzen wir jedoch seit dem Jahre 1950 Fahrzeuge, die häufig in der Nordsee tätig und ausserdem mit Bordwetterwarten ausgestattet sind. Es sind die Schiffe

Fischereischutzboot "Meerkatze"	(seit Mai 1950)
Fischereiforschungsschiff "Anton Dohrn"	(seit Febr. 1955)
Fischereischutzboot "Poseidon"	(seit Nov. 1957)

Sie haben bisher rund 100 Fahrten in Nordsee und Nordmeer unternommen. Das auf ihnen tätige Personal des Seewetteramtes stellt in dreistündigem Abstand ausführliche Wetterbeobachtungen an, die unter anderem auch den Seegang enthalten. Ein Teil dieses Materials liegt der nachfolgenden Ausarbeitung zugrunde.

Es ist verständlich, dass die Beobachtungen von wenigen Schiffen aus wenigen Jahren nicht ausreichen, um die Seegangsverhältnisse eines so beträchtlichen Seegebietes, wie die Nordsee es ist, statistisch einwandfrei darzustellen. Es kann sich also nur um einen Versuch handeln,

erste Anhaltspunkte über die Dimensionen der Meereswellen in der Nordsee und ihre Häufigkeit zu gewinnen. Dieser Versuch wurde unternommen, um den am Seegang interessierten Stellen der Seeschifffahrt, der Hochseefischerei und des Schiffbaus wenigstens vorläufige statistische Unterlagen zur Verfügung zu stellen.

Die Bearbeitung wurde durchgeführt von Herrn Regierungsinspektor O. Petri, Sachbearbeiter im Dezernat "Fachmeteorologische Arbeiten auf See" der Abt. Maritime Meteorologie des Seewetteramtes. Entsprechend ihrer Beobachtungsgrundlage ist diese Arbeit als Fortsetzung der in der Einzelveröffentlichung Nr. 12 angekündigten Reihe von Berichten aus dem Erfahrungsbereich der Bordwetterwarten anzusehen.

Hamburg, den 10. April 1958

Dr. H.U. Roll

Leiter der Abt. Maritime Meteorologie
des Seewetteramtes

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1. DIE BEOBACHTUNGEN, IHRE VERARBEITUNG UND DARSTELLUNG	4
1.1 Art der Beobachtungen	4
1.2 Zeitliche und räumliche Verteilung der Beobachtungen	4
1.3 Die Verarbeitung der Beobachtungen	5
1.4 Die Form der Darstellung der Ergebnisse	5
2. DARSTELLUNG DER STATISTISCHEN ERGEBNISSE FÜR DIE GESAMTE NORDSEE	7
2.1 Wellengrößen ohne Berücksichtigung der Beziehungen zum Wind	
2.1.1 Häufigkeit und Häufigkeitssummen der Wellenhöhe	8
2.1.2 Häufigkeit und Häufigkeitssummen der Wellenperiode	9
2.1.3 Häufigkeit einzelner Wellenhöhenstufen für Wellen von 3 m Höhe und mehr	10
2.2 Wellengrößen in Abhängigkeit vom Wind	
2.2.1 Häufigkeit der Wellenhöhe für die Windstärken 0-8 Bft. ...	11
2.2.2 Häufigkeit der Wellenperiode für die Windstärken 0-8 Bft..	12
2.2.3 Mittlere, häufigste und Höchstwerte der Wellengrößen in Abhängigkeit von der Windstärke	13
2.2.4 Mittlere Wellengrößen in Abhängigkeit von Stärke und Richtung des Windes	14
2.2.5 Häufigkeit der Wellen von 3 m Höhe und mehr in Abhängig- keit von der Windrichtung	15
2.3 Vergleiche mit anderen Wellenbeobachtungen	
2.3.1 Vergleich der Mittelwerte der Wellenhöhe	16
2.3.2 Vergleich der Mittelwerte der Wellenperiode	17
2.3.3 Vergleich der Häufigkeit einiger Wellenhöhenbereiche	18
3. ERGEBNISSE FÜR 4 TEILGEBIETE DER NORDSEE IN ABHÄNGIGKEIT VON STÄRKE UND RICHTUNG DES WINDES	19
3.1 Mittel- und Höchstwerte der Wellenhöhe für die Windstärken 3-8 Bft. aufgeteilt nach Windrichtungsquadranten	20
3.2 Mittel- und Höchstwerte der Wellenperiode für die Wind- stärken 3-8 Bft. aufgeteilt nach Windrichtungsquadranten..	26
4. DISKUSSION EINIGER ERGEBNISSE	33
4.1 Zur Häufigkeitsverteilung der Wellengrößen	33
4.2 Die Abhängigkeit von der Windstärke	34
4.3 Der Einfluß der Windrichtung	34
4.4 Vergleiche mit anderen Wellenbeobachtungen	36
4.4.1 Mittelwerte der Wellenhöhe in Abhängigkeit von der Windstärke	36
4.4.2 Häufigkeit einiger Wellenhöhenbereiche	37
4.4.3 Mittelwerte der Wellenperiode in Abhängigkeit von der Windstärke	37
4.5 Ergebnisse für die 4 Nordsee-Teilgebiete	37

1. DIE BEOBACHTUNGEN, IHRE VERARBEITUNG UND DARSTELLUNG

1.1 Art der Beobachtungen

Den in Form von Tabellen und Diagrammen dargebotenen Ergebnissen liegen ausschließlich die Wellenbeobachtungen der Bordwetterwarten des Deutschen Wetterdienstes zugrunde. Diese schwimmenden Wetterwarten sind auf den Schiffen des Fischereischutzes und der Fischereiforschung stationiert. Sie beobachten im Rahmen des üblichen meteorologischen Beobachtungsdienstes dreistündlich Richtung, Höhe und Periode der Meereswellen.

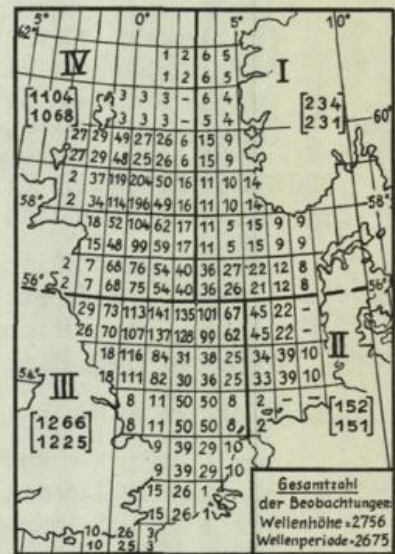
Die Wellenhöhe ist visuell ermittelt, jedoch mit höchstmöglicher Genauigkeit geschätzt worden. Die Periode ist größtenteils mit der Stoppuhr gemessen worden.

Die Beobachtungen können als zuverlässig und homogen angesehen werden, weil sie von einem nur kleinen Kreis meteorologisch geschulter Personen nach einem einheitlichen Verfahren gewonnen worden sind.

1.2 Zeitliche und räumliche Verteilung der Beobachtungen

Der Zeitraum, aus dem die zu dieser Arbeit verwendeten Beobachtungen der Bordwetterwarte des Fischereischutzbootes "Meerkatze" stammen, beginnt mit Indienststellung dieses Schiffes am 31. Mai 1950 und endet am 9. Dezember 1956; Beobachtungen der Bordwetterwarte des Fischereiforschungsschiffs "Anton Dohrn" standen aus der Zeit vom 15. Februar 1955 bis 12. Dezember 1956 zur Verfügung.

Insgesamt wurden 2756 Beobachtungen der Wellenhöhe und 2675 der Wellenperiode verarbeitet. Die nebenstehende Abbildung 1 zeigt, wie diese Beobachtungen auf die Eingradfelder der Nordsee verteilt sind. Die obere Zahl jedes Feldes betrifft die Wellenhöhe, die untere die Wellenperiode. Die in eckiger Klammer stehenden vier Zahlenpaare geben die entsprechenden Gesamtzahlen für die vier Teilgebiete I-IV an.



Verteilung der Wellenbeobachtungen

1.3 Die Verarbeitung der Beobachtungen

Bei der Bearbeitung des Beobachtungsmaterials wurde die Absicht verfolgt, möglichst nur jenen Teil des Seegangs zu erfassen und darzustellen, der von der Windsee gebildet wird. Aus diesem Grunde wurden von vornherein solche Fälle von der weiteren Bearbeitung ausgeschlossen, in denen der beobachtete Seegang nach der

Gesamtlage Dünungsanteile enthalten muß. Ausgeschieden wurden daher alle Beobachtungen, bei denen

- a) der Unterschied zwischen Wellenrichtung und gleichzeitiger Windrichtung mehr als 20° ,
- b) die Änderung der Windrichtung in den letzten drei Stunden mehr als 20° und
- c) die Änderung der Windgeschwindigkeit in den letzten drei Stunden mehr als 5 Knoten betrug.

Ein sicheres Ausschalten aller Dünungsanteile des Seegangs konnte aber hierdurch nicht ganz erreicht werden, da es Fälle gibt, in denen die Richtung der Dünung mit der herrschenden Windrichtung annähernd übereinstimmt. Diese nicht ohne weiteres ausschaltbare Beimengung von Dünung in der Windsee bewirkt, daß die statistischen Mittelwerte sowohl für die Wellenhöhe als auch für die Wellenperiode bei kleinen Windstärken zu hoch sind. Von Windstärke 5 an ist der Einfluß beigemengter Dünung wenig erheblich.

1.4 Die Form der Darstellung der Ergebnisse

Die Ergebnisse werden in der Hauptsache in der Form graphischer Darstellungen gebracht. Sie werden in zwei Abschnitten dargeboten, von denen sich einer (Teil 2.) mit Zahlen für die gesamte Nordsee befaßt, während der andere (Teil 3) statistische Größen für vier Teilgebiete der Nordsee bringt. Diese Teilgebiete sind auf der Karte der Verteilung der Wellenbeobachtungen (Abb.1, S.4) mit den Bezeichnungen I - IV angegeben.

Teil 2 mit den Ergebnissen für die gesamte Nordsee bringt am Anfang solche Ergebnisse, die für Wellen ohne ihre Beziehung zum Wind gelten. So ist in den Abbildungen 2 und 3 (S. 8 und 9) die relative Häufigkeit der Wellengrößen in Säulenform und in Tabelle 4 (S.10) die Häufigkeit einzelner Wellenhöhenstufen für Wellen von 3 m Höhe und mehr dargestellt. Die Häufigkeitszahlen für die verschiedenen Wellenhöhen und Wellenperioden wurden ausserdem aufsummiert und in Form einer (etwas ausgeglichenen) Kurve auf Abb.2 und 3 wiedergegeben. So findet man z.B., daß die Wellen von 0 bis 1,5 m Höhe 53,1 % aller beobachteten Wellenhöhen ausmachen.

Es folgen in den Abbildungen 5 und 6 und in den Tabellen 7 bis 9 Werte, welche die Abhängigkeit der Wellenbildung vom Wind angeben.

In Abb. 5 und 6 (S. 11 und 12) werden die relativen Häufigkeiten der Wellengrößen für verschiedene Windstärkestufen (Beaufortgrade) aufgeführt.

Tab. 7 (S. 13) enthält für jede Windstärke den Mittelwert, den häufigsten Wert und den höchsten beobachteten Wert der Wellenhöhe und der Wellenperiode aus allen Nordseebeobachtungen.

In Tab. 8 (S. 14) ist eine weitere Unterteilung, nämlich in Windrichtungsquadranten vorgenommen worden; die Tabelle gibt Mittelwerte der Wellenhöhe und Wellenperiode für die Windstärken 3 bis 8 Beaufort.

Die Wellenbeobachtungen von 3 m Höhe und mehr wurden nach der Richtung des gleichzeitig beobachteten Windes geordnet und zu

vier Richtungsquadranten zusammengefaßt; für diese Sektoren wurde die Häufigkeitsverteilung der Wellenhöhen - aufgeteilt in zwei Wellenhöhenbereiche - berechnet und in Tab. 9 (S.15) dargestellt.

Zur sicheren Unterscheidung der sich stark ähnelnden Säulendarstellungen sind die Säulen für Wellenhöhen blau, die für Wellenperioden gelb kenntlich gemacht worden. Die Zahl der jeweils verwendeten Einzelbeobachtungen sind in den Abbildungen am Fuß der Säulen und in den Tabellen in einer besonderen Zeile angegeben. Den "häufigsten Werten" sind die zugehörigen prozentualen Häufigkeiten beigegefügt worden.

Am Schluß von Teil 2 werden die Mittelwerte von Wellenhöhe und Wellenperiode sowie die Häufigkeiten einiger Wellenhöhen mit denen des Nordatlantischen Ozeans einerseits und denen der Feuerschiffe in der Deutschen Bucht andererseits in graphischen Darstellungen (Abb.10 und 11, S. 16 und 17) und einer Tabelle (Tab. 12, S.18) verglichen.

Teil 3 bringt Mittel- und Höchstwerte der Wellengrößen sowie die zugehörige Zahl der bearbeiteten Fälle für vier Teilgebiete der Nordsee (die zusammen die ganze Nordsee bilden) in Kartendarstellungen. Für jede einzelne Windstärke von 3 bis 8 Beaufort liegt je eine Karte mit den Werten der Wellenhöhe und eine mit den Werten der Wellenperiode vor. In bestimmter schematischer Anordnung sind auf diesen Karten in jedem der vier Nordseeteile und für jeden Windrichtungsquadranten die oben angeführten drei Größen eingetragen. In das Kästchen in der Mitte jedes Teilgebietes wurden die entsprechenden Werte für alle Beobachtungen des Teilgebietes ohne Rücksicht auf die Windrichtung eingesetzt

2. DARSTELLUNG DER STATISTISCHEN
ERGEBNISSE FÜR DIE GESAMTE NORDSEE

- 2.1 Wellengrößen ohne Berücksichtigung
der Beziehungen zum Wind

- 2.2 Wellengrößen in Abhängigkeit vom
Wind

- 2.3 Vergleiche mit anderen Wellenbeobachtungen

2.1.1

Relative Häufigkeit und Häufigkeitssummen
der Wellenhöhe in der Nordsee
ohne Berücksichtigung der Beziehungen zum Wind
Gesamtzahl der Fälle: 2756

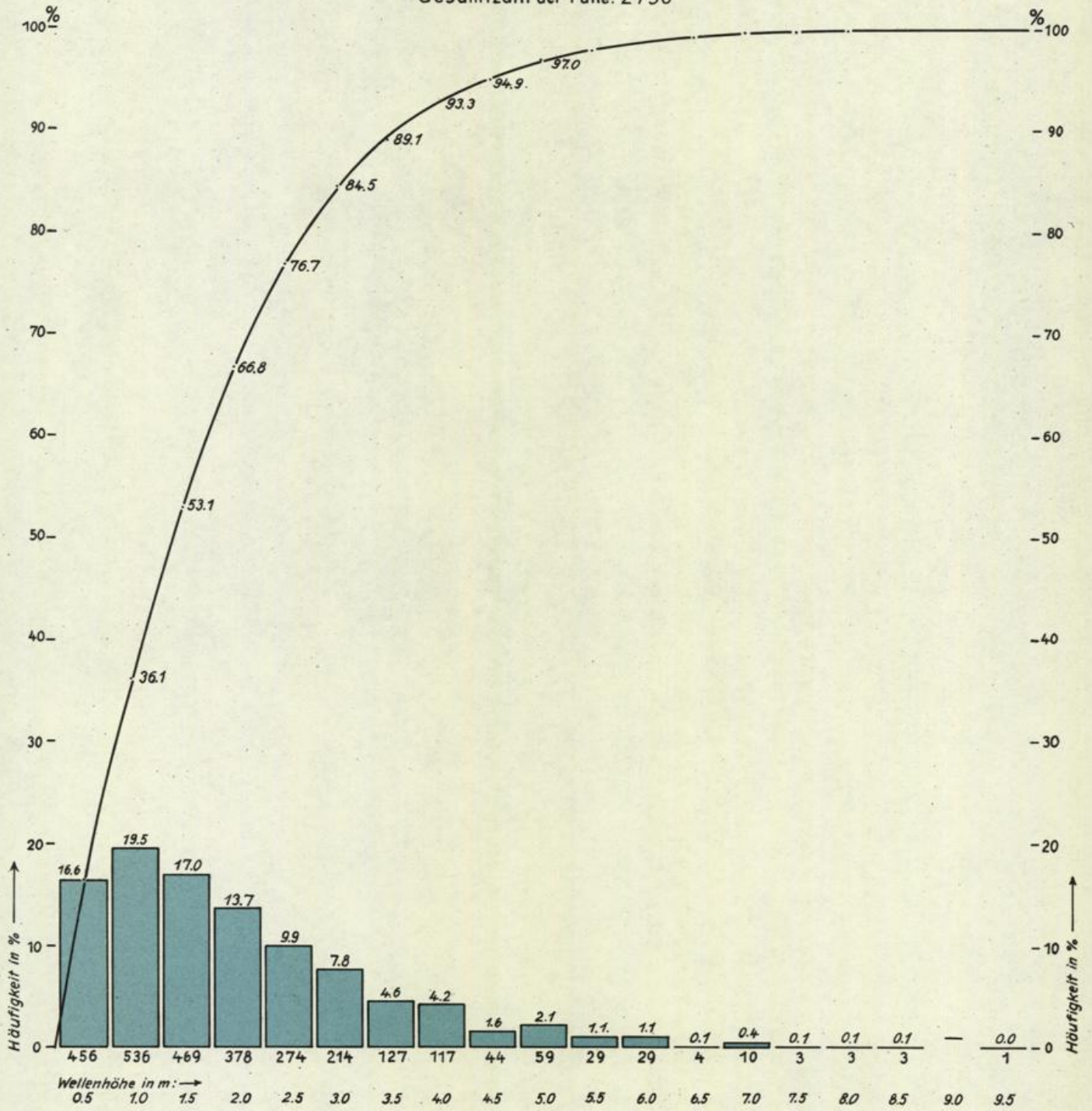


Abb. 2

Relative Häufigkeit und Häufigkeitssummen der Wellenperiode in der Nordsee

ohne Berücksichtigung der Beziehungen zum Wind

Gesamtzahl der Fälle: 2675

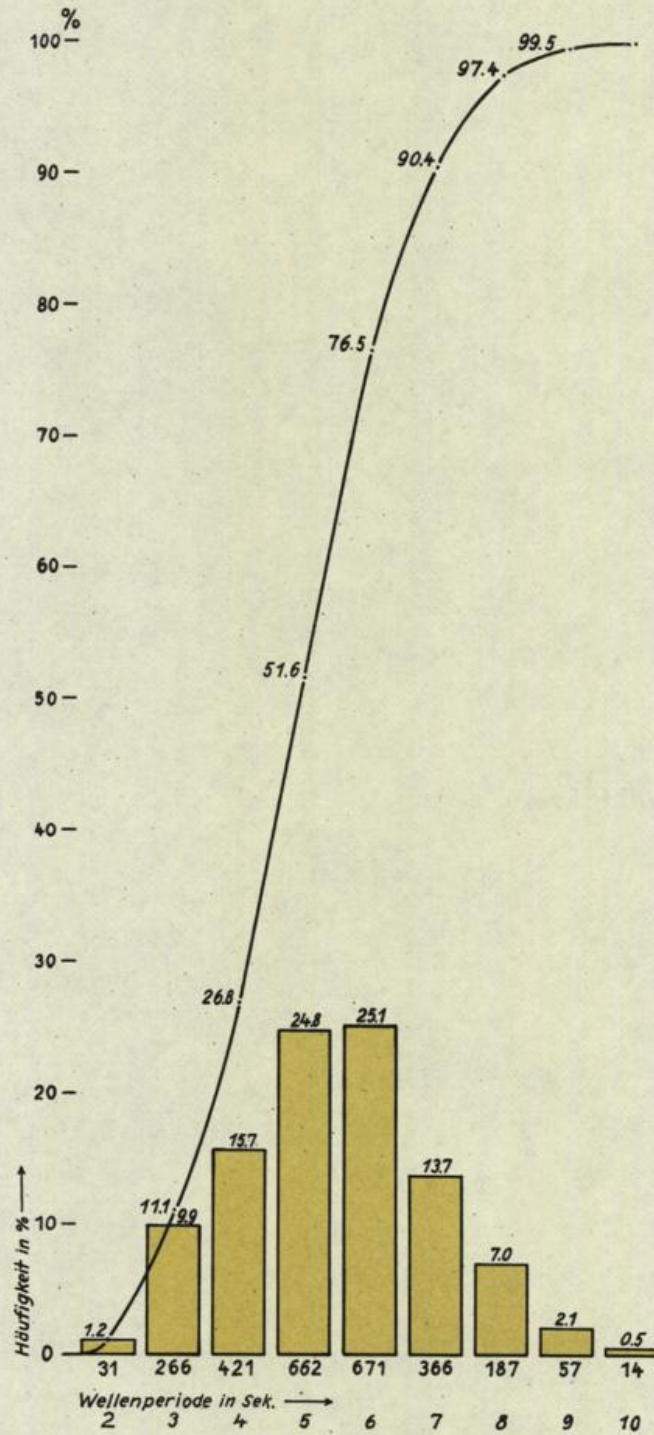


Abb. 3

2.1.3 Tabelle 4 Häufigkeit einzelner Wellenhöhenstufen für Wellen von 3 m Höhe und mehr

a) Wellen 3 - 4,5 m hoch

Wellenhöhen in m	3.0	3.5	4.0	4.5	3.0-4.5
Häufigkeit in % der 3-4.5 m hohen Wellen	42.6	25.3	23.3	8.8	100.0
Zahl der Fälle	214	127	117	44	502
Häufigkeit in % aller Wellenbeobachtungen	7.8	4.6	4.2	1.6	18.2

b) Wellen 5 - 10 m hoch (Sturmwellen)

Wellenhöhen in m	5.0	5.5	6.0	6.5	7.0	7.5	8.0	8.5	9.0	9.5	5.0-9.5
Häufigkeit in % der 5-10 m hohen Wellen	41.9	20.6	20.6	2.8	7.1	2.1	2.1	2.1	---	0.7	100.0
Zahl der Fälle	59	29	29	4	10	3	3	3	---	1	141
Häufigkeit in % aller Wellenbeobachtungen	2.1	1.1	1.1	0.1	0.4	0.1	0.1	0.1	---	0.0	5.1

2.2.1

Häufigkeit der Wellenhöhe für die Windstärken 0-8 Beaufort
(für Beobachtungen aus der gesamten Nordsee)

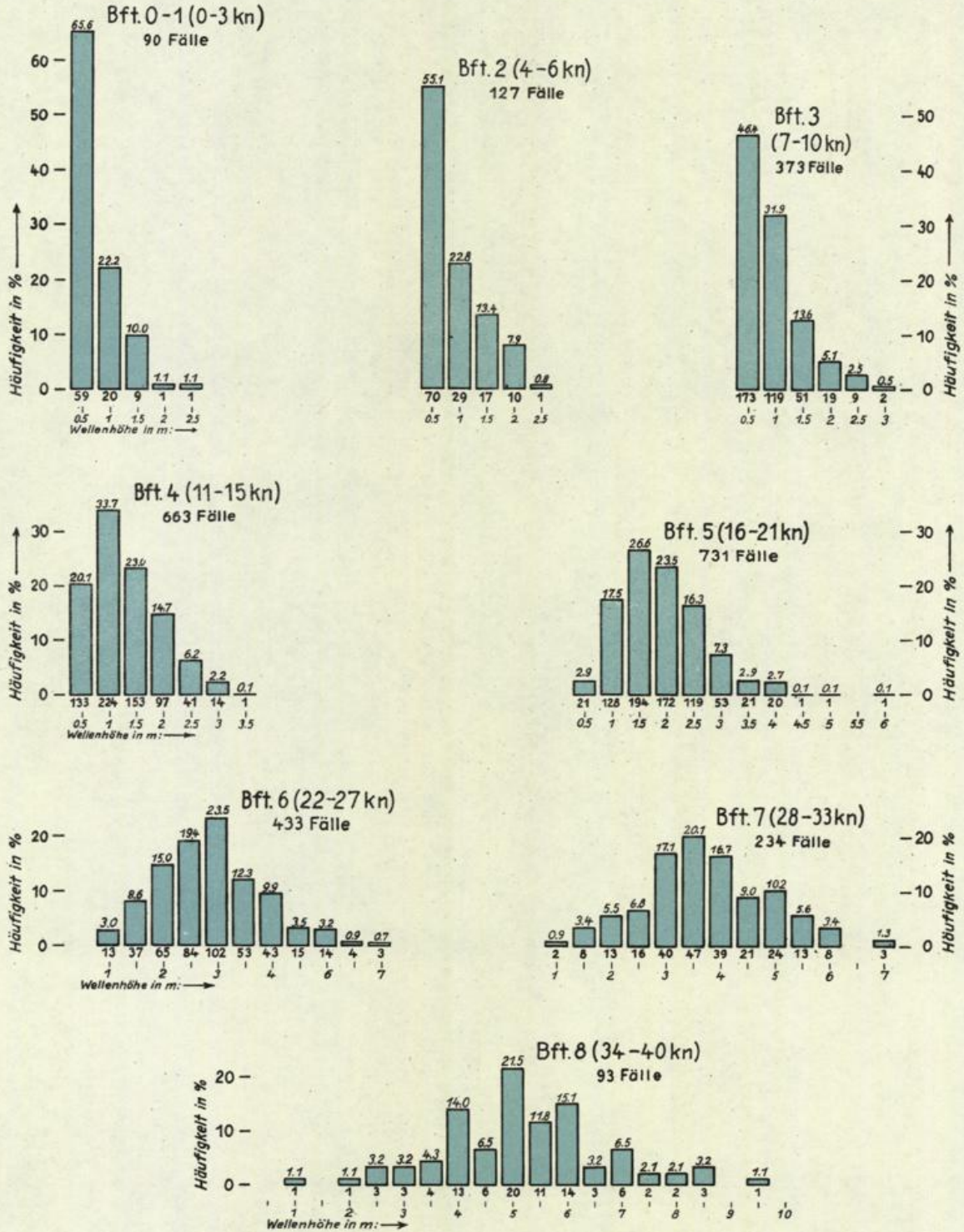


Abb. 5

2.2.2

Häufigkeit der Wellenperiode für die Windstärken 0-8 Beaufort (für Beobachtungen aus der gesamten Nordsee)

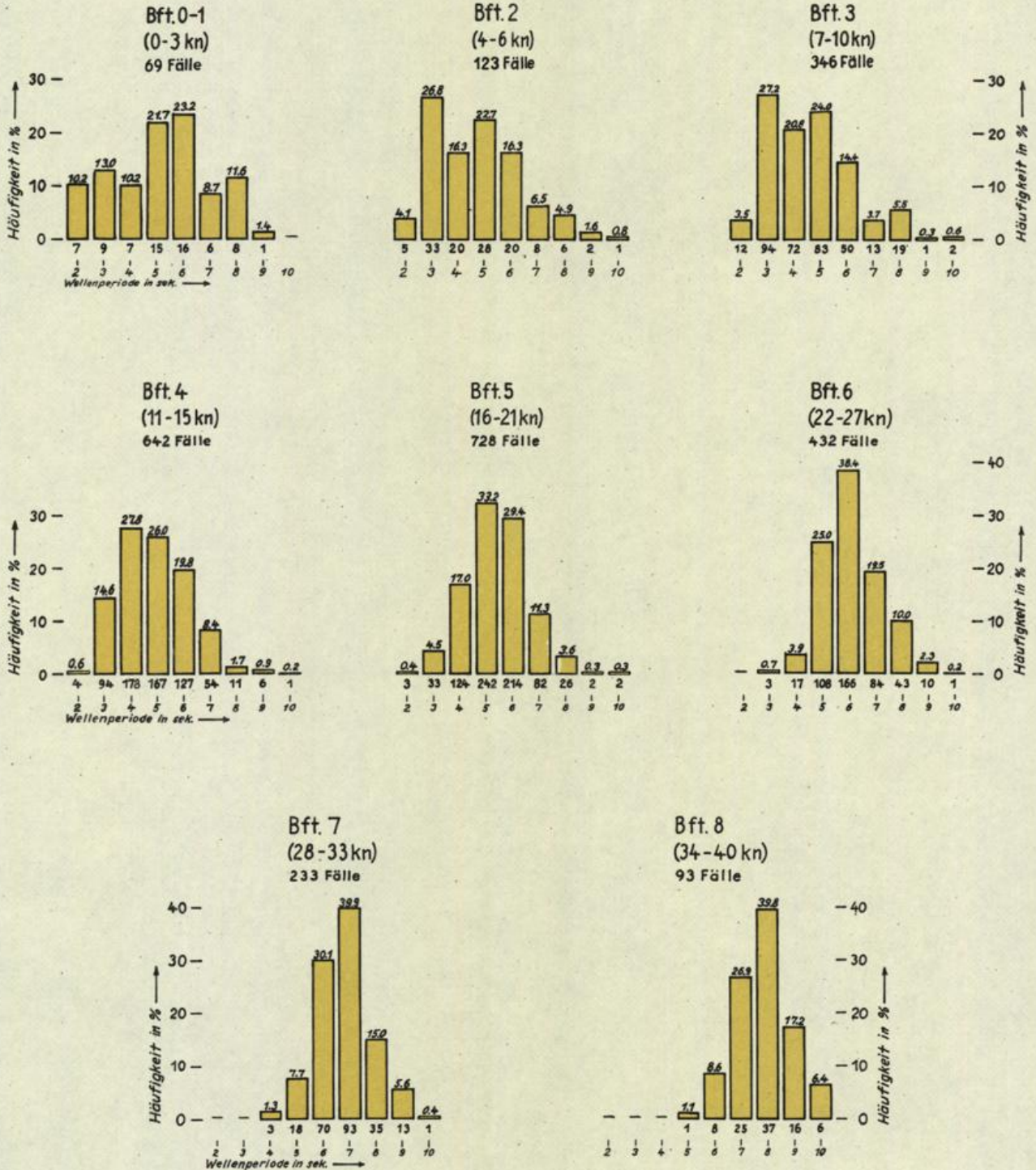


Abb.6

THE EFFECT OF VIBRATION ON THE VIBRATION OF THE BODY

It is well known that the human body is a complex system of interconnected parts, each of which is capable of vibrating independently of the others. The overall vibration of the body is therefore a result of the interaction of these individual vibrations. The present study is concerned with the effect of external vibration on the internal vibrations of the body.

The results of the present study show that the human body is capable of vibrating at a wide range of frequencies. The most prominent vibrations are those in the range of 1 to 10 Hz. These vibrations are caused by the interaction of the internal organs and the external environment. The present study has shown that the human body is capable of vibrating at a wide range of frequencies, and that the most prominent vibrations are those in the range of 1 to 10 Hz.

The present study has shown that the human body is capable of vibrating at a wide range of frequencies, and that the most prominent vibrations are those in the range of 1 to 10 Hz. The present study has also shown that the human body is capable of vibrating at a wide range of frequencies, and that the most prominent vibrations are those in the range of 1 to 10 Hz.

2.2.3 Tabelle 7 Mittlere, häufigste und Höchstwerte der Wellengrößen
in Abhängigkeit von der Windstärke

1. für die Wellenhöhe (m)

Beaufort Knoten	1 1-3	2 4-6	3 7-10	4 11-15	5 16-21	6 22-27	7 28-33	8 34-40	9 41-47	≥10 ≥48	alle Wind- stärken zusammen
Mittelwert	0.7	0.9	0.9	1.3	1.9	2.9	3.7	5.3	5.4	(6.7)	1.98
Zahl der Fälle	90	127	373	663	731	433	234	93	9	3	2756
Häufigster Wert	≤0.5	≤0.5	≤0.5	0.6- 1.0	1.1- 1.5	2.6- 3.0	3.1- 3.5	4.6- 5.0	---	(nur 3 Fälle)	
Häufigkeit in %	65.5	55.1	46.4	33.7	26.6	23.5	20.0	22.1	---	---	
Höchstwert	2.5	5.0	2.8	3.5	6.0	6.0	7.0	9.5	8.0	7.5	9.5

2. für die Wellenperiode (sek.)

Mittelwert	5.1	4.7	4.6	4.9	5.4	6.1	6.8	7.8	8.3	9.0	5.45
Zahl der Fälle	69	123	346	642	728	432	233	93	6	3	2675
Häufigster Wert	6	3	3	4	5	6	7	8	(9)	(9)	
Häufigkeit in %	22.5	27.0	27.3	27.7	33.2	38.3	39.8	39.7	-	-	
Höchstwert	9	10	10	10	10	10	10	10	9	9	10

2.2.4 Tabelle 8 Mittlere Wellengrößen in Abhängigkeit von Stärke und Richtung des Windes

a) Wellenhöhe (m)							
Beaufort Knoten	3 7-10	4 11-15	5 16-21	6 22-27	7 28-33	8 34-40	alle Windstärken zusammen
Windrichtg.-quadrant							
NO(10°-90°) Zahl der Fälle	0.9 80	1.3 83	2.0 97	2.9 43	3.9 18	5.1 13	1.9 334
SO(100°-180°) Zahl der Fälle	0.7 71	0.9 149	1.6 142	2.5 71	3.5 50	6.0 19	1.7 502
SW(190°-270°) Zahl der Fälle	0.8 113	1.1 206	1.6 260	2.7 168	3.3 85	5.1 28	1.9 860
NW(280°-360°) Zahl der Fälle	0.9 109	1.4 225	2.2 232	3.1 151	4.2 81	5.2 33	2.3 831
alle Windrichtungen zusammen	0.9	1.3	1.9	2.9	3.7	5.3	---
Zahl der Fälle	373	663	731	433	234	93	2527
b) Wellenperiode (sek.)							
NO(10°-90°) Zahl der Fälle	4.8 77	5.3 81	5.6 96	6.2 43	7.6 17	7.0 13	5.6 327
SO(100°-180°) Zahl der Fälle	4.2 64	4.3 144	5.0 142	5.9 71	6.5 50	7.8 19	5.1 490
SW(190°-270°) Zahl der Fälle	4.0 103	4.5 198	5.1 259	6.1 167	6.3 85	8.0 28	5.3 840
NW(280°-360°) Zahl der Fälle	4.5 102	5.7 219	5.9 231	6.3 151	7.1 81	7.8 33	5.9 817
alle Windrichtungen zusammen	4.6	4.9	5.4	6.1	6.8	7.8	---
Zahl der Fälle	346	642	728	432	233	93	2474

2.2.5 Tabelle 9 Häufigkeit der Wellen
 von 3 m Höhe und mehr in Abhängigkeit von der Windrichtung

Wind- richtungs- quadrant	Wellen 3 - 4.5 m hoch			Wellen 5 - 10 m hoch		
	Häufig- keit in % der 3 - 4.5 m ho- hen Wellen	Zahl der Fälle	Häufig- keit in % aller Be- obachtungen	Häufig- keit in % der 5 - 10 m ho- hen Wellen	Zahl der Fälle	Häufig- keit in % aller Be- obachtungen
Nord-Ost (10° - 90°)	13.7	69	2.5	7.8	11	0.4
Ost-Süd (100°-180°)	16.1	81	2.9	11.3	16	0.6
Süd-West (190°-270°)	31.3	157	5.7	28.4	40	1.4
West-Nord (280°-360°)	38.9	195	7.1	52.5	74	2.7
alle Wind- richtungen zusammen	100.0	502	18.2	100.0	141	5.1
=====	=====	=====	=====	=====	=====	=====

Vergleich von Mittelwerten der Wellenhöhe, in Abhängigkeit von der Windstärke für die Nordsee, den Nordatlantik und Feuerschiffe in der Deutschen Bucht

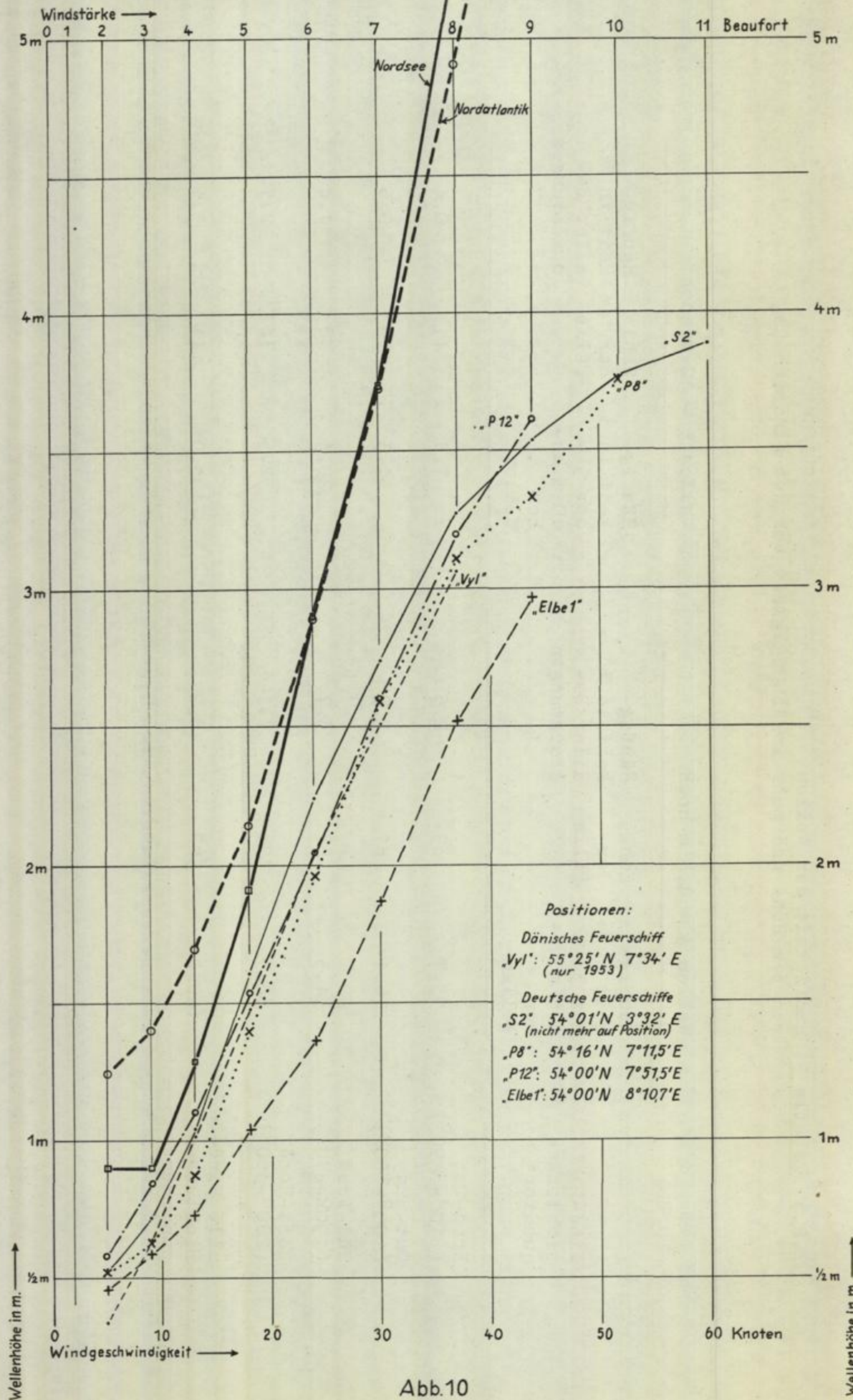


Abb.10

Vergleich von Mittelwerten der Wellenperiode in Abhängigkeit von der Windstärke für die Nordsee, den Nordatlantik und zwei Feuerschiffe in der Deutschen Bucht

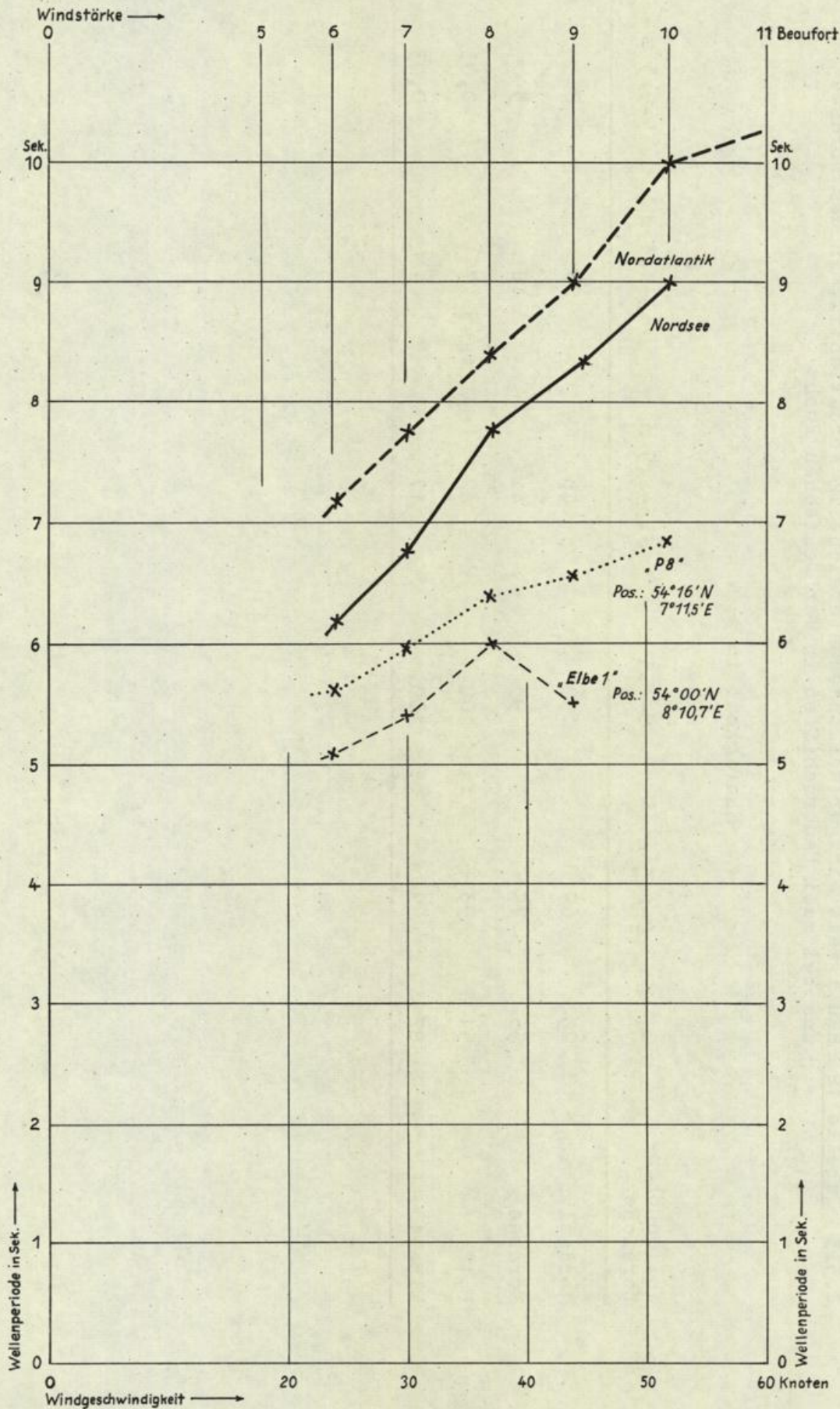


Abb. 11

2.3.3 Tabelle 12 Häufigkeit einiger Wellenhöhenbereiche im Nordatlantik, in der Nordsee und bei zwei Feuerschiffen in der Deutschen Bucht

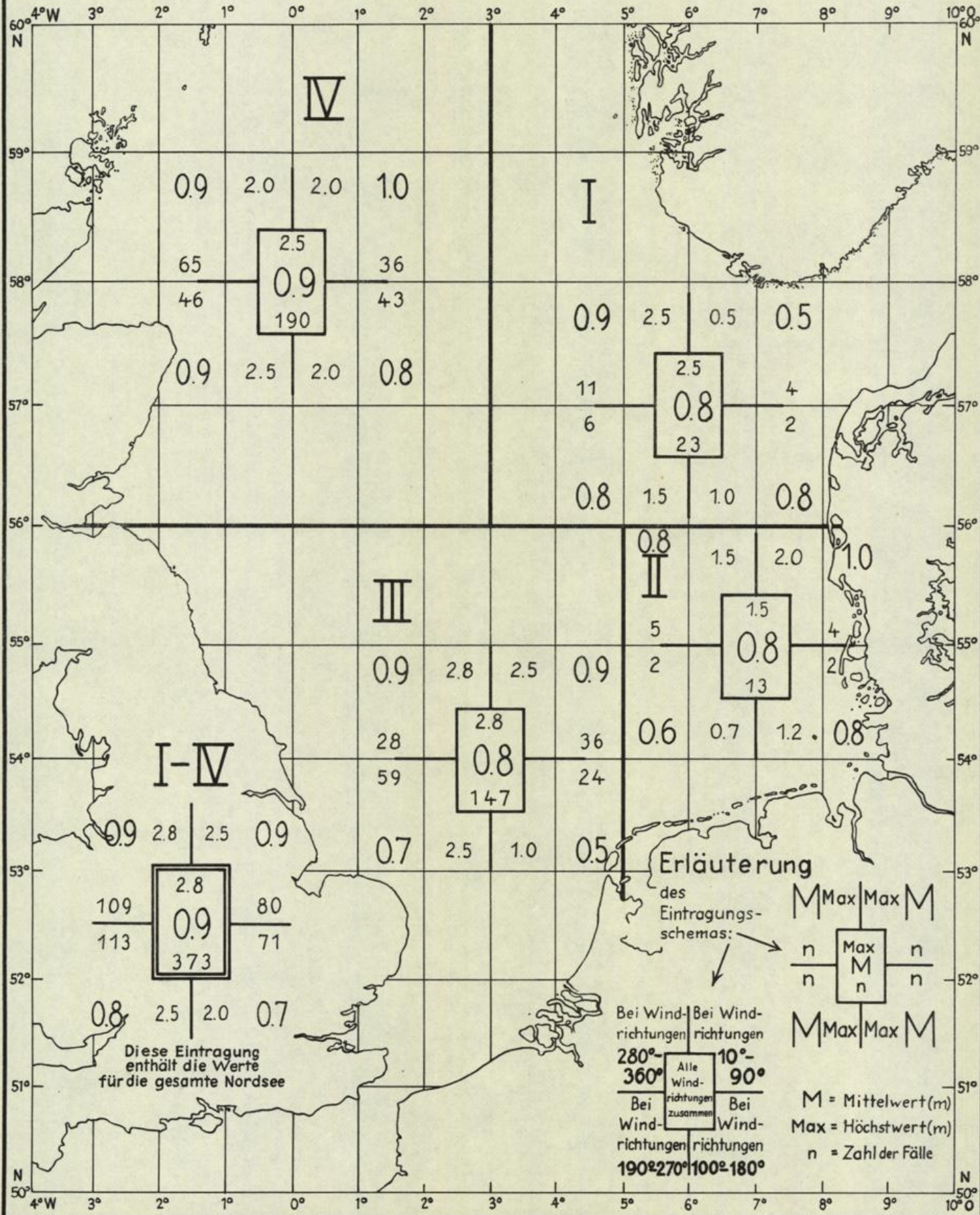
Häufigkeit in %

Wellenhöhen- bereiche	0-1 m	0-2.5 m	0-4.5 m	1.5-2.5 m	3-4.5 m	5-9.5 m
Nordatlantik	23	69	92	46	23	8
Nordsee	36	77	95	41	18	5
P 12	51	93	fast 100	42	fast 7	0,03
Elbe 1	82	99	" 100	17	" 1	0,03

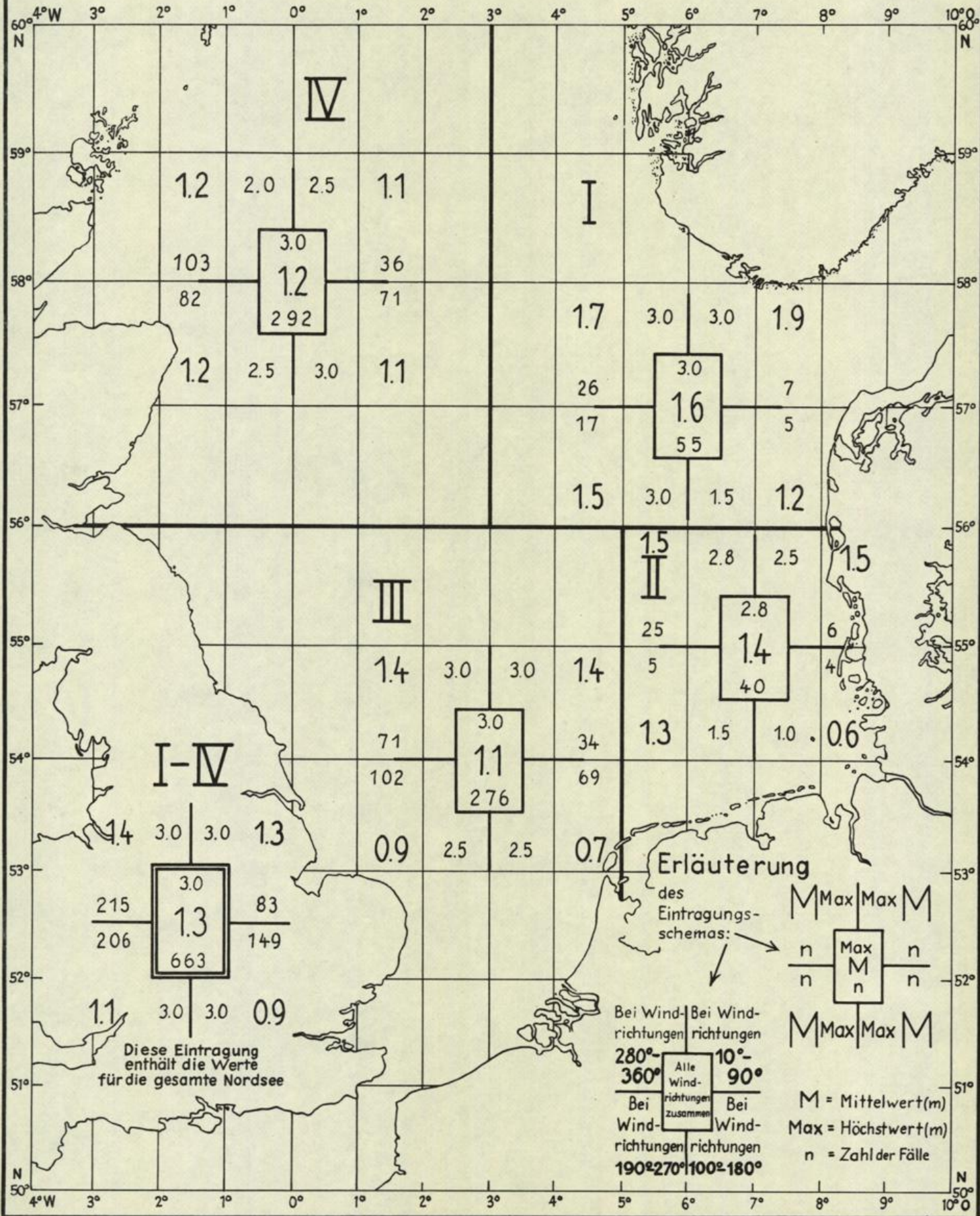
3. ERGEBNISSE FÜR VIER TEILGEBIETE
DER NORDSEE IN ABHÄNGIGKEIT VON
STÄRKE UND RICHTUNG DES WINDES

3.1 Mittel- und Höchstwerte der Wellenhöhe
für die Windstärken 3 - 8 Beaufort,
aufgeteilt nach Windrichtungsquadranten
(S. 20 - 25)

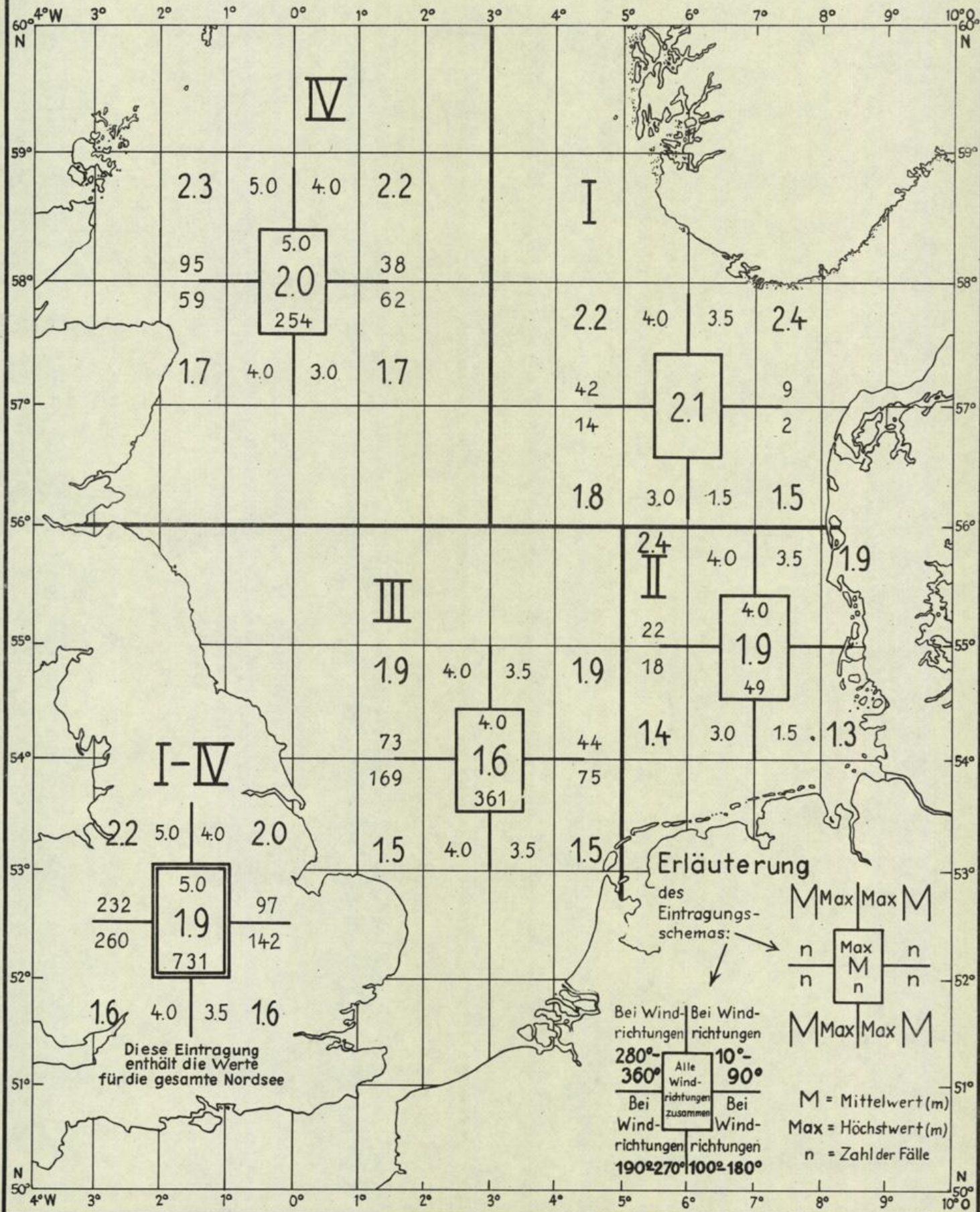
Mittel- und Höchstwerte der Wellenhöhe bei Windstärke 3



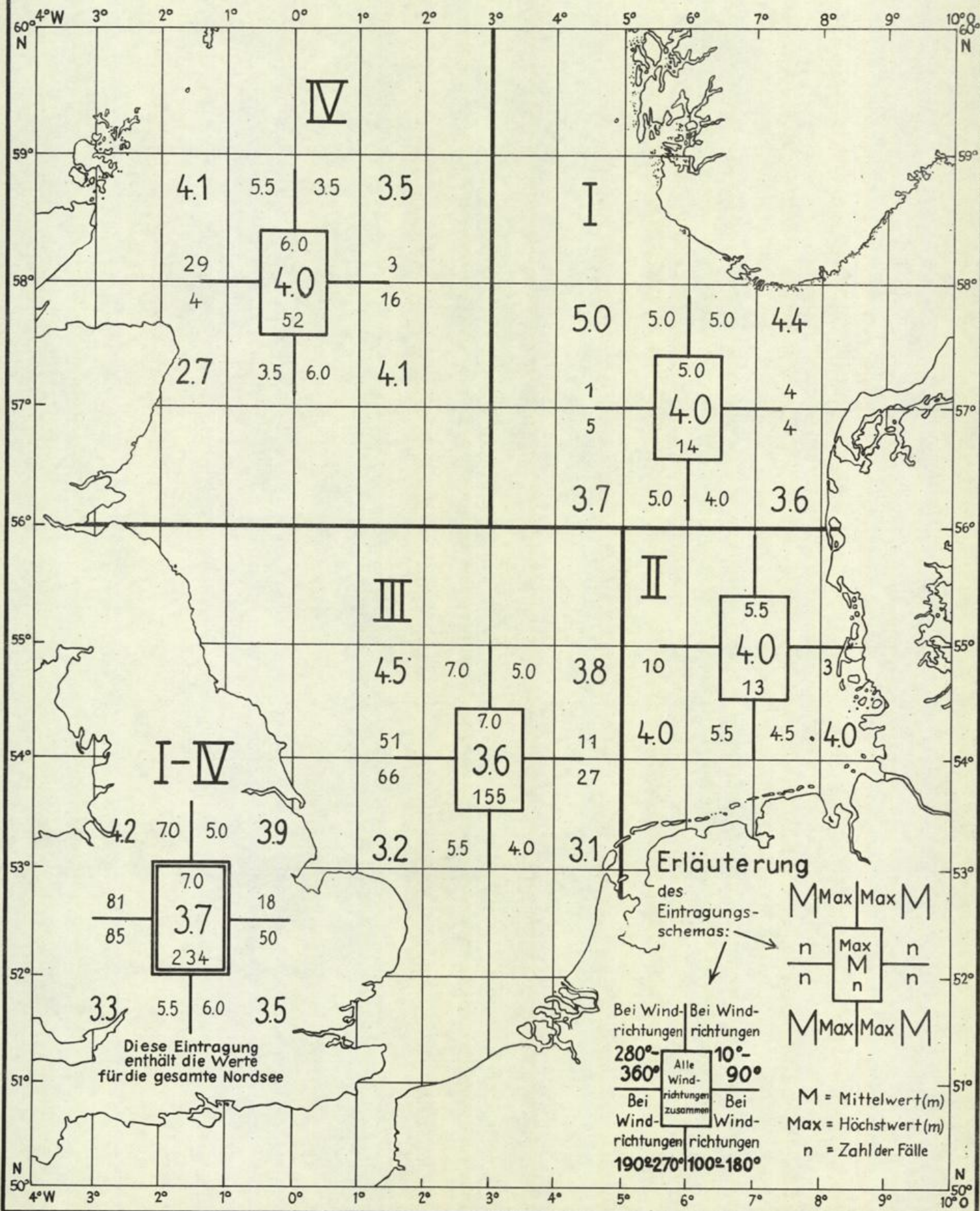
Mittel- und Höchstwerte der Wellenhöhe bei Windstärke 4



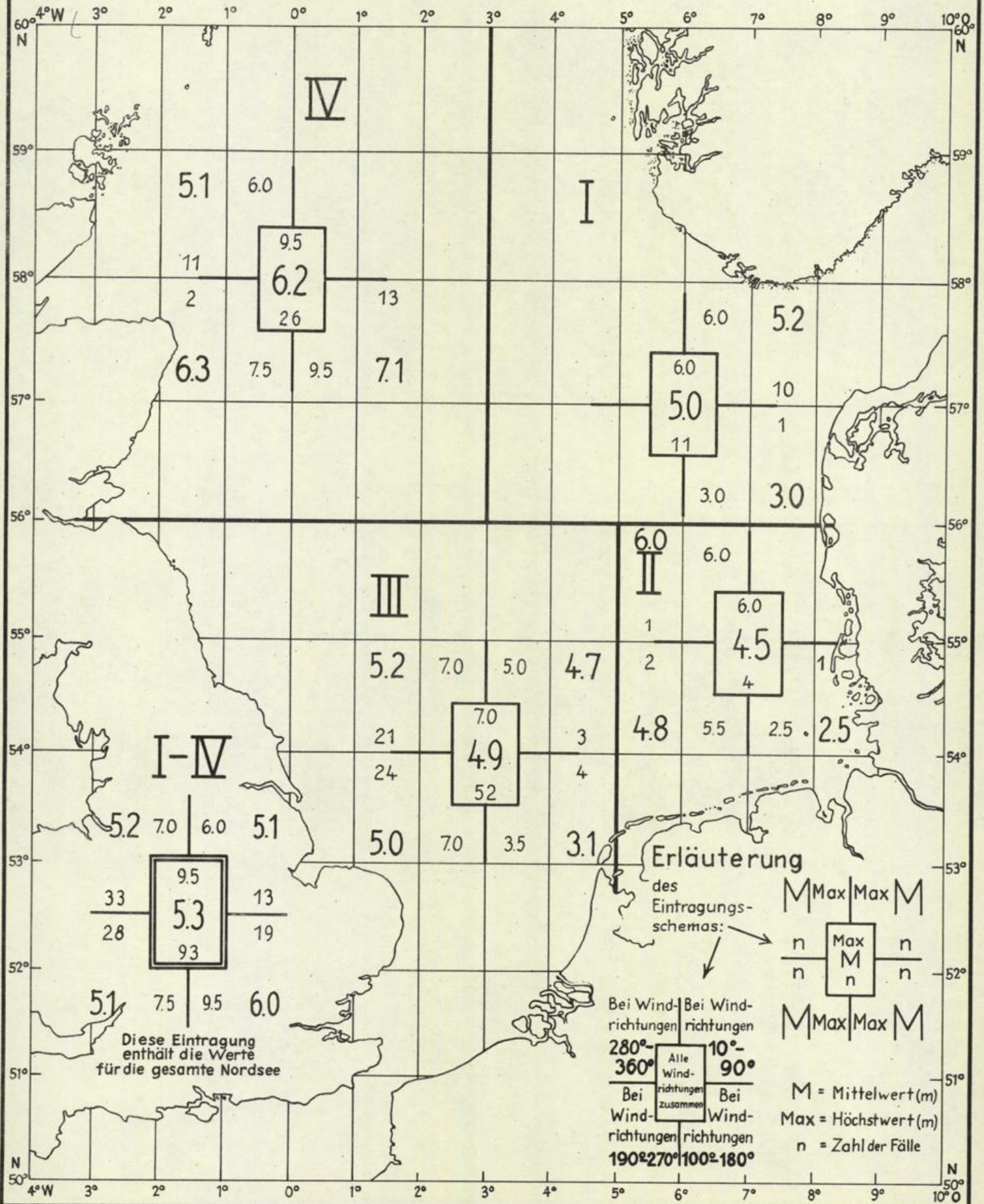
Mittel- und Höchstwerte der Wellenhöhe bei Windstärke 5



Mittel- und Höchstwerte der Wellenhöhe bei Windstärke 7

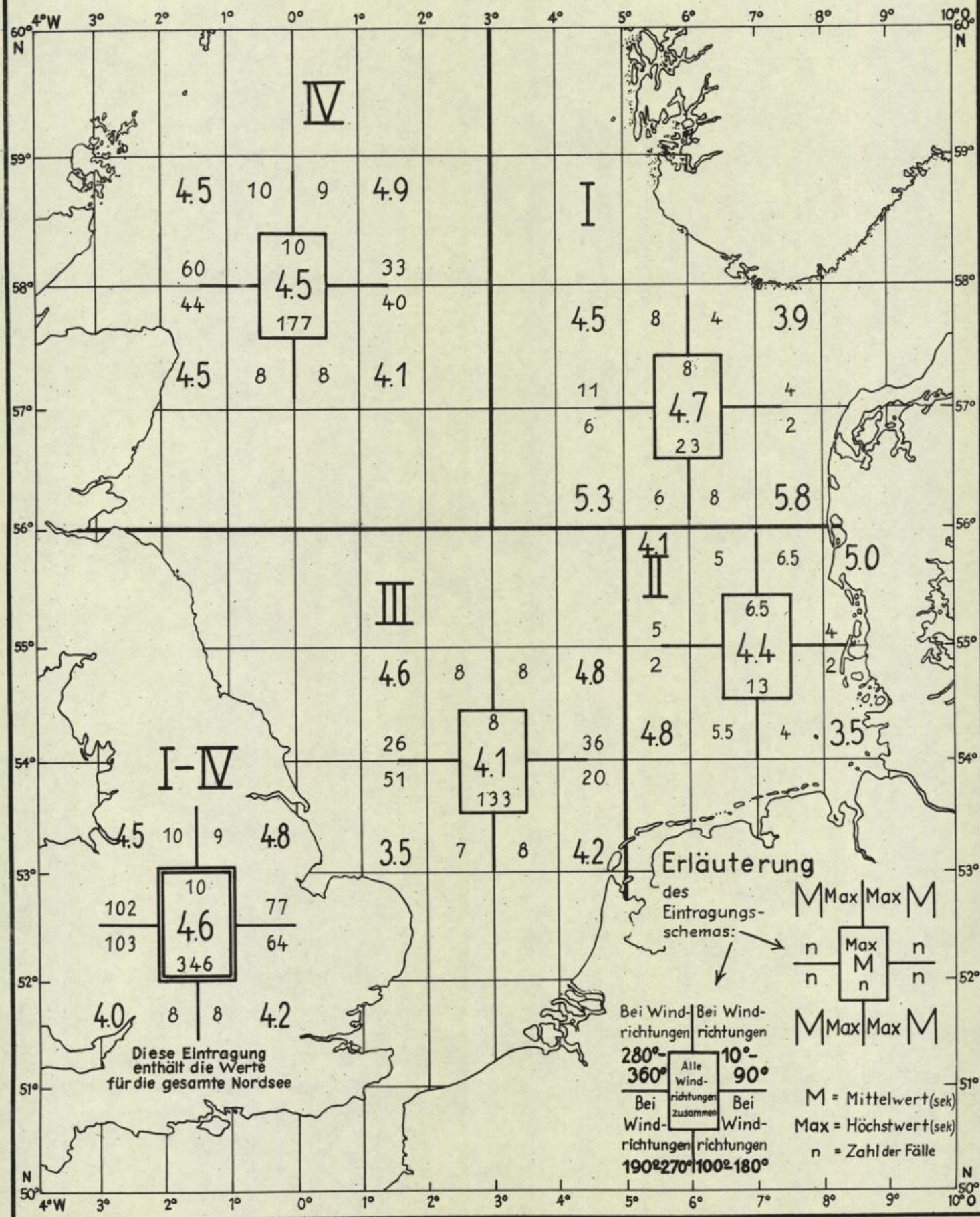


Mittel- und Höchstwerte der Wellenhöhe bei Windstärke 8

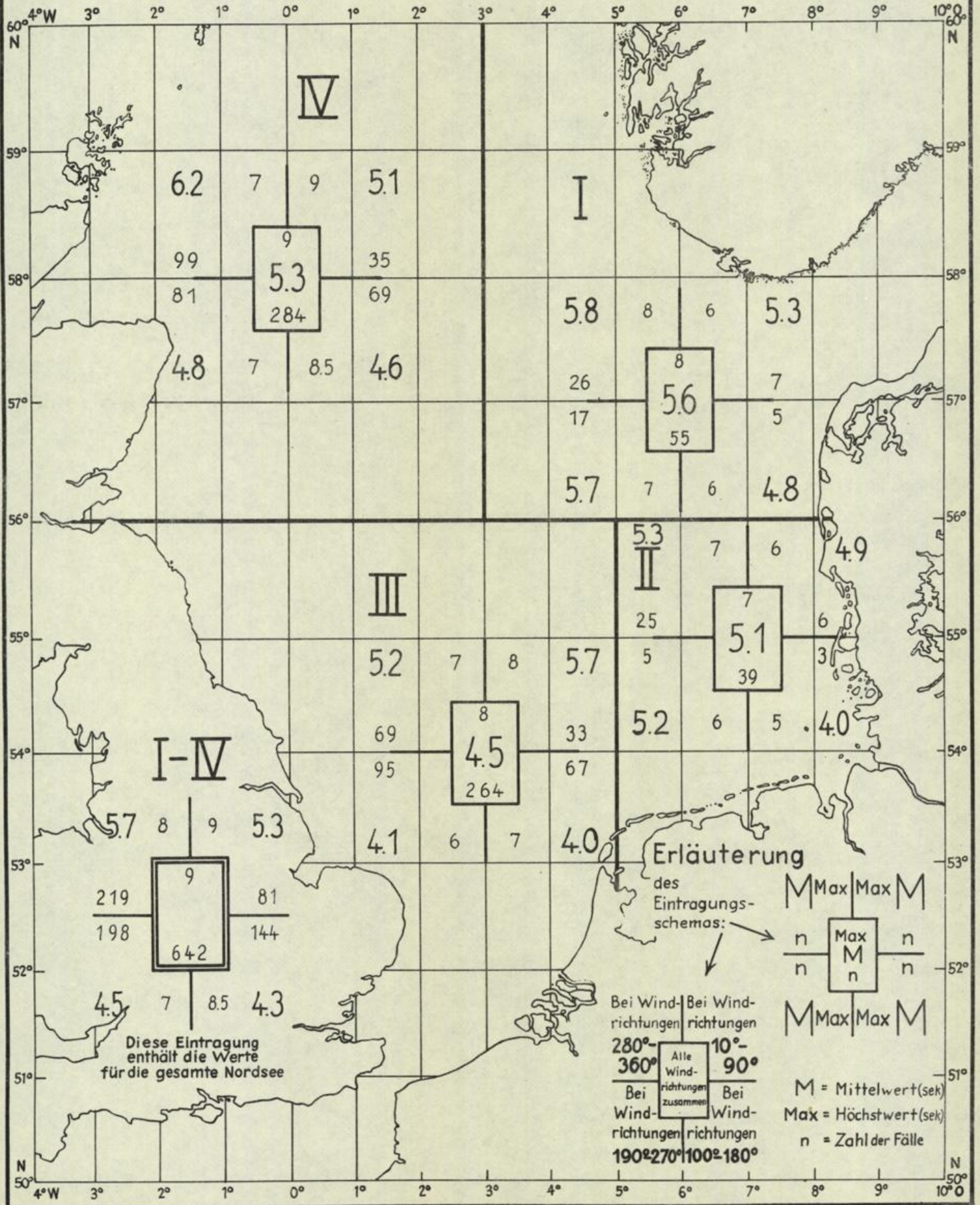


- 3.2 Mittel- und Höchstwerte der Wellenperiode
für die Windstärken 3 - 8 Beaufort,
aufgeteilt nach Windrichtungsquadranten
(S. 27 - 32)

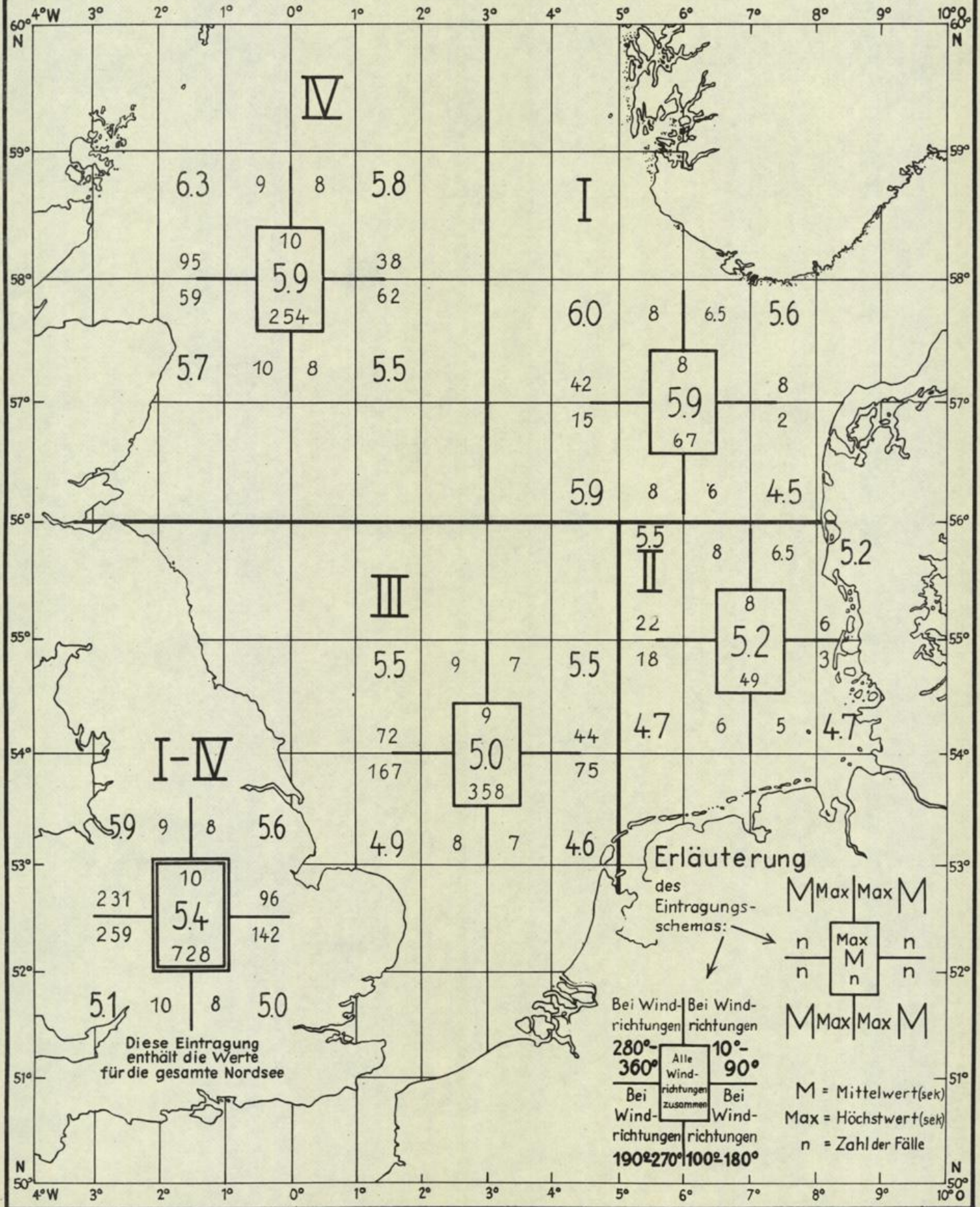
Mittel- und Höchstwerte der Wellenperiode bei Windstärke 3



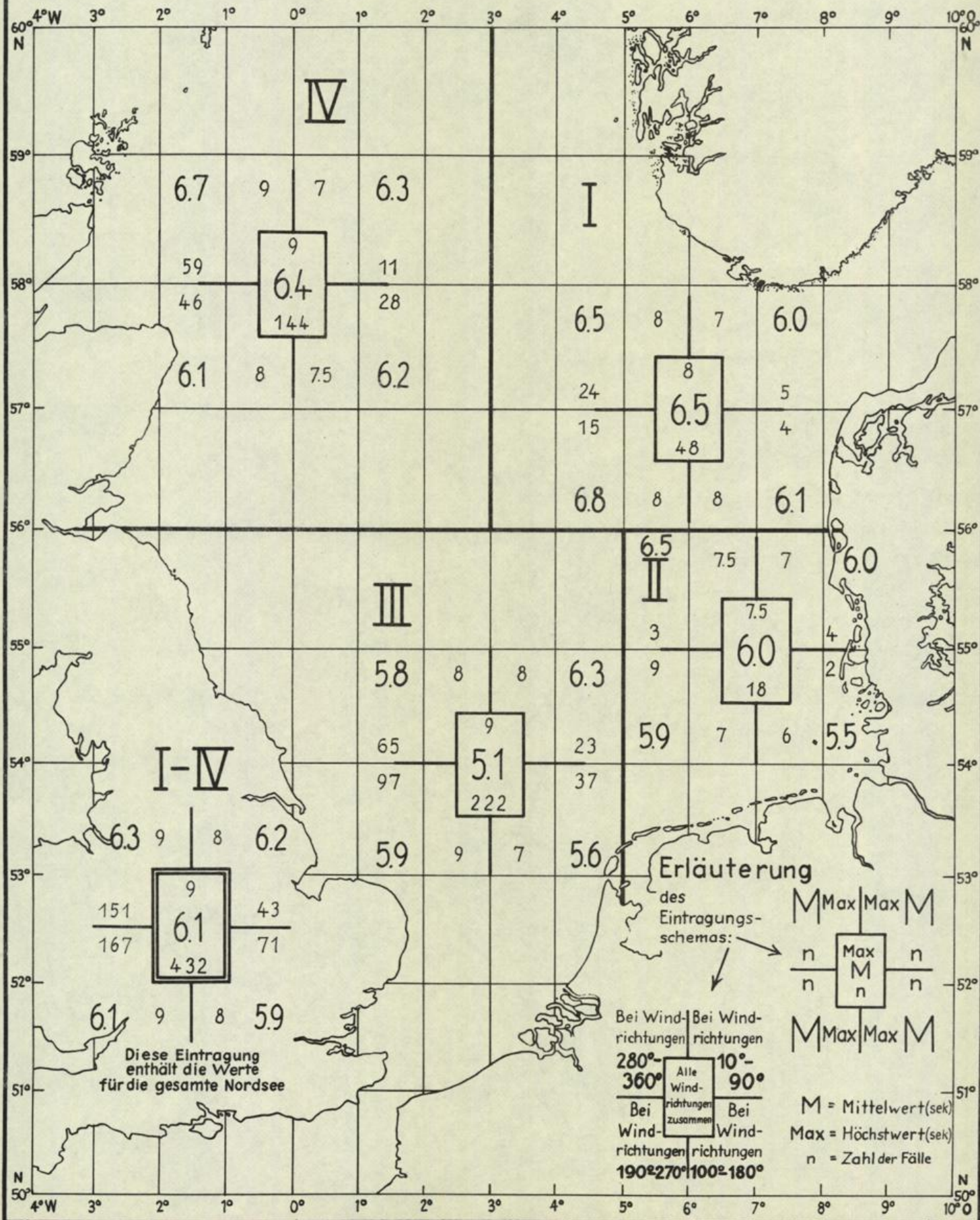
Mittel- und Höchstwerte der Wellenperiode bei Windstärke 4



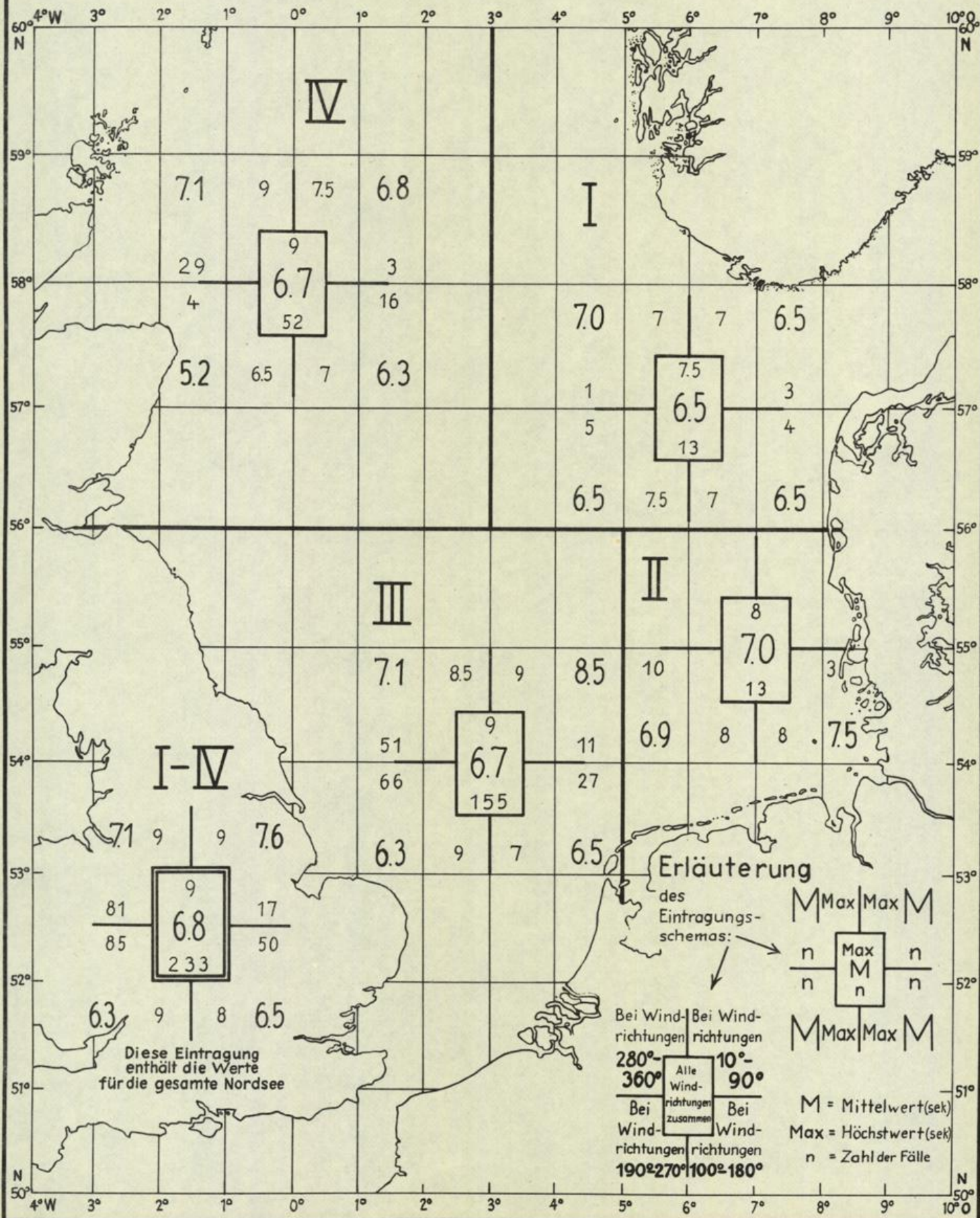
Mittel- und Höchstwerte der Wellenperiode bei Windstärke 5



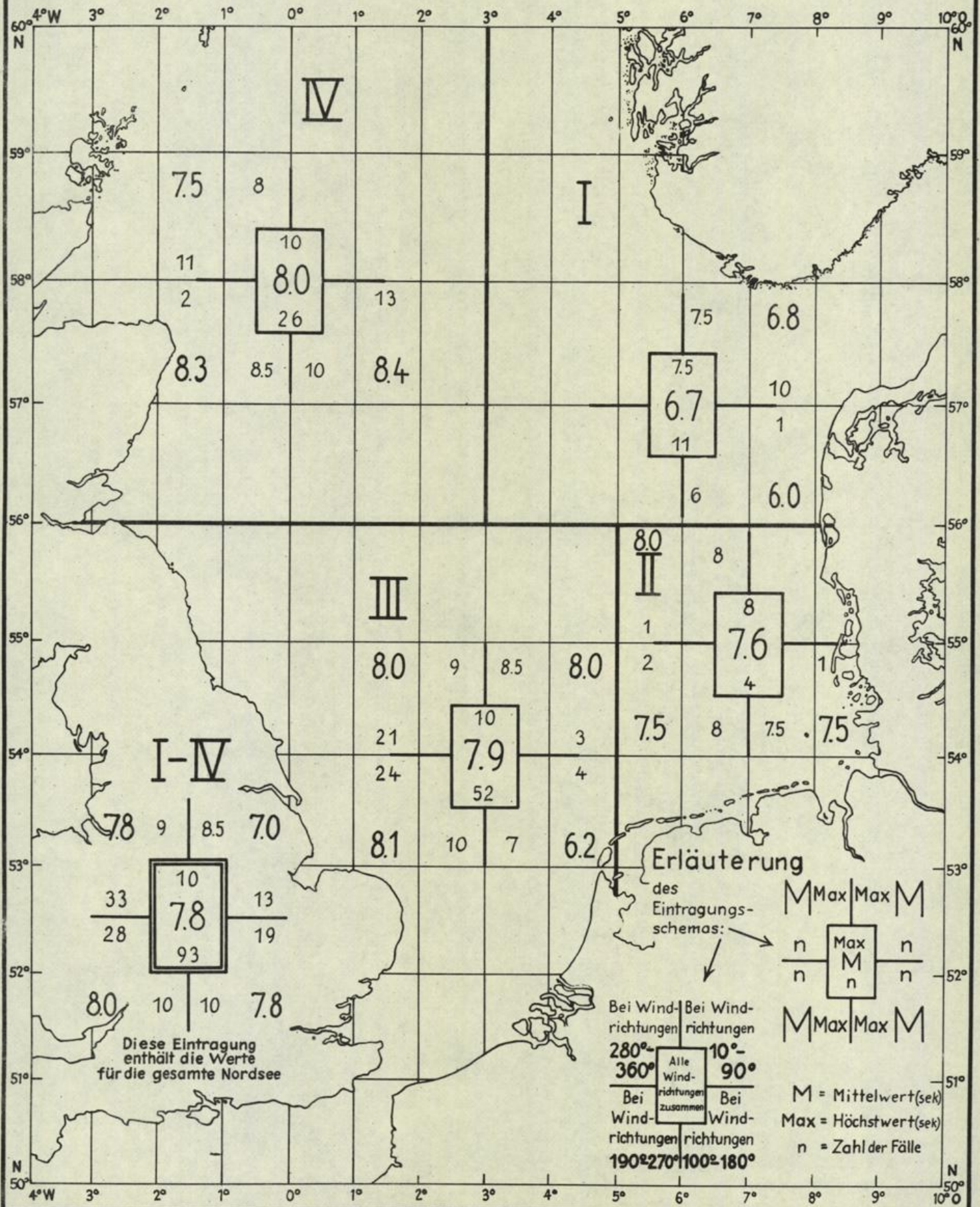
Mittel- und Höchstwerte der Wellenperiode bei Windstärke 6



Mittel- und Höchstwerte der Wellenperiode bei Windstärke 7



Mittel- und Höchstwerte der Wellenperiode bei Windstärke 8



4. DISKUSSION EINIGER ERGEBNISSE

4.1 Zur Häufigkeitsverteilung der Wellengrößen

Aus der graphischen Darstellung Abb. 2 (S.8) ersieht man, daß über ein Drittel (36 %) aller in der Nordsee beobachteten Wellen nicht höher als 1 m und rund zwei Drittel (67 %) nicht höher als 2 m sind. Nur 5% der Beobachtungen enthalten Wellenhöhen von 5 m und mehr.

Im Nordatlantik ¹⁾ sind 23 % aller Wellen nicht höher als 1 m, 58% nicht höher als 2 m, und nur 8% erreichen 5 m und mehr. Der sich ergebende Unterschied zwischen Atlantik und Nordsee entspricht annähernd der Erwartung.

Am häufigsten wurden in der Nordsee Wellenperioden von 5 und 6 Sekunden beobachtet, die zusammen rund 50 % aller Fälle ausmachen (Abb.3, S. 9). Der Periodenbereich von 4 bis 7 Sekunden umfaßt rund 80% aller Fälle, und rund 96% aller beobachteten Perioden lagen zwischen 3 und 8 Sekunden. Für Perioden von 2, 9 und 10 Sekunden bleiben insgesamt nur 4% übrig. Perioden unter 2 Sekunden und über 10 Sekunden wurden überhaupt nicht beobachtet. Ein Vergleich mit der Statistik über Wellenperioden im Nordatlantik ¹⁾ lehrt, daß - wie erwartet - in der Nordsee die kleineren Perioden und somit die kürzeren Wellen bedeutend häufiger sind als im Atlantischen Ozean; nur bei Perioden oberhalb 7 Sekunden tritt der Unterschied bei den Häufigkeiten weniger stark in Erscheinung, weil die längeren Wellen auch im Atlantik verhältnismässig selten sind.

Die Aufstellungen der Tab.4 (S.10) geben die Verteilung der Häufigkeiten für verschiedene Wellenhöhenstufen innerhalb zweier Gruppen von Wellenhöhen, nämlich der von 3 bis 4.5 m und von 5 m und mehr. Die Prozentzahlen in der oberen Zeile beziehen sich auf die Zahl der für diese Gruppe vorliegenden Beobachtungen, während die letzte Zeile die Häufigkeitsprozente von allen bearbeiteten Beobachtungen enthält. Zwischen den Höhenstufen 4.0 und 5.0 m liegt ein deutlicher Abfall der Häufigkeit.

Zählt man die jahreszeitliche Verteilung der Wellen von 5 - 10 m Höhe aus, so zeigt sich, daß der Herbst durchschnittlich die weitaus meisten Sturmwellen brachte :

Frühling	{ März, April, Mai }	2.9%	{ 4 Fälle }
Sommer	{ Juni, Juli, August }	16.3%	{ 23 " }
Herbst	{ Sept., Okt., Nov. }	56.0%	{ 79 " }
Winter	{ Dez., Jan., Febr. }	24.8%	{ 35 " }

In der folgenden kleinen Reihe sind die 20 höchsten Wellenhöhen, die überhaupt erfasst worden sind, noch einmal besonders zusammengestellt worden. Sie teilen sich, der Höhe nach geordnet, fol-

¹⁾ H.U.Roll, Höhe, Länge und Steilheit der Meereswellen im Nordatlantik, Deutscher Wetterdienst, Seewetteramt, Einzelveröffentlichung Nr.1

gendermaßen auf :

Wellenhöhe in m :	9.5	8.5	8.0	7.5	7.0
Zahl der Fälle :	1	3	3	3	10

10 von diesen Werten entsprangen einem Südoststurm im Januar 1956, auf den im Abschnitt 4.3 (S.34) noch eingegangen werden wird. Es ist ersichtlich, daß ein Seegang von mehr als 9.5 m Höhe in der Nordsee ausserordentlich selten ist. Der Grund für das Fehlen von höheren und auch längeren Wellen in der Nordsee ist - wie erwähnt - auch darin zu suchen, daß die Wassertiefe hier verhältnismässig gering ist.

4.2 Die Abhängigkeit von der Windstärke

Erwartungsgemäß sind bei den geringen Windstärken die niedrigen Wellen am häufigsten (Abb.5, S.11). Daß bei den Windstärken 1 und 2 überhaupt Wellen von mehr als 0,5 m Höhe aufgetreten sind, ist auf die Anwesenheit von Dünung zurückzuführen. Die Häufigkeitsmaxima verschieben sich beim Übergang zu den grösseren Windstärken systematisch auf die höheren Werte der Wellenhöhe. Dabei wird das bei den geringen Windstärken sehr grosse Übergewicht des häufigsten Wertes über seine Nachbarwerte immer kleiner; zugleich wird die Verteilung breiter (vgl. in Abb.5 Bft. 0-1 und Bft.7).

Diese Erscheinung ist darauf zurückzuführen, daß bei starken Winden die Wellenhöhe nur dann klein ist, wenn die Dauer der Windeinwirkung oder die Anlaufstrecke des Windes kurz sind, während die grossen Wellenhöhen bei schwachen Winden durch Dünung beeinflusst gewesen sein dürften.

Das Häufigkeitsmaximum der Wellenperiode (Abb.6, S.12) liegt bei der Windstärke 3 auf dem Wert von 3 Sekunden; es verschiebt sich bei wachsender Windstärke für jeden Beaufortgrad um etwa eine Sekunde. Für die Windstärke 3 bis 8 stimmt die häufigste Wellenperiode zahlenmässig mit der zugehörigen Beaufortwindstärke überein. Bei Windstärke 4 ist also z.B. die Periode von 4 Sekunden die häufigste, usw. Im Gegensatz zur Wellenhöhe nimmt das Übergewicht des Häufigkeitsmaximums über die benachbarten Werte mit wachsender Windstärke zu, und die Verteilung wird schmäler. Auch bei der Wellenperiode tritt der Einfluß der Dünung bei schwachen Winden stark in Erscheinung. Es ist sogar anzunehmen, daß die bei Windstärke 0-1 beobachteten Perioden sämtlich auf "Fremdsee", also auf Dünung zurückzuführen sind. Es sei ferner erwähnt, daß drei bei Windstärke 10 angestellte Beobachtungen sämtlich eine Periode von 9 sek ergeben haben. Lange Dünung ist wegen der geringen Wassertiefe in der Nordsee nicht möglich. Auffallend ist bei den hohen Windgeschwindigkeiten allerdings das Fehlen kurzer Perioden, die bei kleiner Windwirkungsdauer und kurzem Fetch auftreten müssten.

4.3 Der Einfluß der Windrichtung

Wie die Tabelle 8 (S.14) zeigt, verursachen Winde aus dem Quadranten West bis Nord in der Nordsee im Durchschnitt höhere

und längere Wellen als die Winde gleicher Stärke aus den anderen Richtungen. Hierfür kann man zwei Gründe anführen :

Für die meisten Punkte der Nordsee sind in der Nordwestrichtung die längsten freien Windbahnen zu finden. Kurze Windbahnen verhindern bei höheren Windstärken die volle Entwicklung des Seegangs; dieser Fall ist in der Nordsee an vielen Stellen und in der Deutschen Bucht hauptsächlich bei Süd- und Ostwinden gegeben.

Der andere Grund für die Ausbildung grösserer Wellen bei Winden aus dem NW-Sektor ist darin zu sehen, daß die Luft bei nordwestlichen Winden im allgemeinen kälter als das Nordseewasser ist. Daß ein verhältnismässig kalter Wind über wärmerem Wasser höhere und steilere Wellen anfacht als bei Temperaturgleichheit oder bei entgegengesetztem Temperaturverhältnis zwischen Luft und Wasser, ist eine seit einigen Jahren bekannte Tatsache. (Über die Ursache dieser Erscheinung - verstärkter vertikaler Energieaustausch - siehe Literatur ¹⁾ und ²⁾.)

Daß in Tabelle 8 (S.14) bei Windstärke 8 der höchste Mittelwert der Wellenhöhe nicht bei nordwestlichen Winden, sondern bei Südostwind auftritt, mag als ein Zufallsergebnis des für diese Windstärke schon recht kargen Zahlenmaterials angesehen werden. Vielleicht ist hierfür aber auch der Charakter der Luftmasse verantwortlich zu machen. Die für die Mittelbildung herangezogenen Beobachtungen aus dem SE-Sektor entstammen nämlich zum erheblichen Teil ein und derselben Wetterlage, bei der im Januar 1956 sehr kalte Winterluft aus Mitteleuropa über die Nordsee strömte. Damals wurde bei Südostwind Stärke 8 in 6 Fällen eine Wellenhöhe von 8 m und mehr, in einem Fall, auf dem Fladengrund sogar 9,5 m beobachtet. Es sei hervorgehoben, daß die Wellenhöhe von 9,5 m den absoluten Höchstwert aller in diesem Heft berücksichtigten Wellenbeobachtungen darstellt, und daß am Beobachtungsort (Fladengrund, 58.2°N, 0.4°W) die Wassertiefe etwa 100 m beträgt und somit grösser ist als in allen Gebieten der mittleren und südlichen Nordsee.

Die Tabelle 9 S.15 bringt eine Aufstellung über die Häufigkeit der Wellen von 3 bis 4.5 m und von 5 bis 10 m Höhe ("Sturmwellen"), geordnet nach Windrichtungsquadranten. (Höhere Wellen als 10 m sind in der Nordsee nicht beobachtet worden.) Die Prozentzahlen in der 1. Spalte jedes Teils dieser Tabelle sind auf die Gesamtzahl der Wellen dieser Art, die der 3. Spalte auf die Gesamtzahl aller Wellenhöhenbeobachtungen bezogen. Aus der untersten Zeile ("alle Windrichtungen zusammen") lässt sich ersehen, welchen Anteil die beiden ausgewählten Wellengruppen von

- 1) H.U.Roll, Über Grössenunterschiede der Meereswellen bei Warm- und Kaltluft. Dtsch.Hydr.Zeitschr.5,111,1952.
- 2) P.R.Brown, Wave Data for the Eastern North Atlantic, The Marine Observer XXIII, 94, 1953.

der Gesamtzahl aller Beobachtungen ausmachen.

Für beide Wellengruppen weist der Quadrant West bis Nord wieder die größte Häufigkeit auf. Die 5 bis 10 m hohen Wellen sind zu über 50% mit Winden aus West bis Nord verbunden (s.1.Absatz dieses Abschn., S.34).

4.4 Vergleiche mit anderen Wellenbeobachtungen

In den Diagrammen der Abb.10 und 11 (S.16 u.17) werden die auf den Beobachtungen in der freien Nordsee fußenden Ergebnisse mit anderen Beobachtungsergebnissen verglichen. Für den Vergleich werden einige Aufstellungen aus der Bearbeitung nordatlantischer Wetterschiffsbeobachtungen¹⁾,²⁾ und aus einer Untersuchung der Aufzeichnungen deutscher Feuerschiffe³⁾ herangezogen. Die von den deutschen Feuerschiffen beobachteten Wellen mögen insofern von Interesse sein, als sie die Seegangsverhältnisse in Küstennähe repräsentieren. Der Mittelwertskurve von Wellenaufzeichnungen des dänischen Feuerschiffs "Vyl" liegen nur die Beobachtungen des Jahres 1953 zugrunde; die Zahlenwerte sind einer Veröffentlichung des Dänischen Meteorologischen Instituts⁴⁾ entnommen.

4.4.1 Mittelwerte der Wellenhöhe in Abhängigkeit von der Windstärke

Bei Abb.10 (S.16) fällt ins Auge, daß sich die Mittelwertskurven zu drei getrennten Gruppen formieren. Verhältnismäßig niedrige Wellen wurden am Feuerschiff "Elbe 1" beobachtet. Bei "Elbe 1" ist von den hier bearbeiteten Beobachtungsstellen die Wassertiefe am geringsten (20 m); ausserdem liegt es nach Süden zu nur 16 sm von Land entfernt. Zu einer weiteren Gruppe lassen sich die übrigen der für den Vergleich herangezogenen Feuerschiffe "Vyl", "P 12", "P 8" und "S 2" zusammenfassen; ihre Wassertiefen sind: 25, 33, 35 und 44 m, ihre Entfernung von der Küste: 20, 12, 33 und 65 sm. Als dritte Gruppe heben sich deutlich Nordsee und Nordatlantik heraus. Dort kann die Windsee für Windstärken bis 8 Beaufort voll ausreifen, ohne durch den Einfluß geringer Wassertiefen wesentlich beeinträchtigt zu werden.

In diesem Bild zeigt sich in groben Zügen die Tatsache, daß die Wassertiefe, wenn sie unter eine gewisse Größe sinkt (wenn sie kleiner als $1/2$ Wellenlänge ist), die ungestörte Entwicklung der Windsee nur bis zu einer bestimmten Wellenhöhe zulässt.

Daß der Mittelwert der Wellenhöhe bei Windstärke 8 für die

¹⁾ vgl. Fußnote 1, S.35

²⁾ H.U.Roll, Die Größe der Meereswellen in Abhängigkeit von der Windstärke, Deutscher Wetterdienst, Seewetteramt, Einzelveröffentlichung Nr.6

³⁾ H.U.Roll, Die Meereswellen der südlichen Nordsee. Deutscher Wetterdienst, Seewetteramt, Einzelveröffentl. Nr.12

⁴⁾ The Height of Sea. Det Danske Meteorologiske Institut, Middelseer Nr.12, Charlottenlund, 1955.

Nordsee etwas höher (5.3 m) liegt als beim Nordatlantik (4.9 m), mag seine Ursache hauptsächlich darin haben, daß die Zahl der bei dem Nordseemittelwert zur Verwendung gekommenen Fälle verhältnismässig klein ist; eine zufällige Beimengung vieler relativ hoher Werte kann den Mittelwert über Gebühr beeinflusst haben.

Daß die Kurven im Bereich der niedrigen Windstärken nicht aufeinanderfallen, ist auf die Beimengung von Dünung, die durch die angewandte Auswahlmethode nicht zu beseitigen war, zurückzuführen. Bei der Nordatlantikkurve, die alle Dünungsangaben mitenthält, tritt ihr Einfluß am stärksten hervor.

4.4.2 Häufigkeit einiger Wellenhöhenbereiche

Die Mittelstellung der Nordsee zwischen dem Nordatlantik und der Deutschen Bucht ist in den in Tab.12 (S.18) aufgeführten Häufigkeiten der Wellenhöhen bei fast allen Wellenarten gut ausgeprägt.

4.4.3 Mittelwerte der Wellenperiode in Abhängigkeit von der Windstärke

Die Mittelwerte der Wellenperiode sind bei dem hier vorliegenden Beobachtungsmaterial im Bereich der geringeren Windstärken - mit ohnehin geringen Unterschieden der Mittelwerte - störenden Einflüssen unterworfen, so daß ein Vergleich der verschiedenen Beobachtungsstellen erst ab Windstärke 6 Beaufort ein klares Bild ergibt, das Gesetzmässigkeiten erkennen lässt. In der Abbildung 11 (S.17) wurde dementsprechend nur dieser Teil der Mittelwertskurven gezeichnet. Es zeigt sich, daß die Wellenperioden ausser von der Windstärke auch von der Wassertiefe und von der Landentfernung abhängen; sie folgen damit einem ähnlichen Gesetz wie die Wellenhöhen.

4.5 Ergebnisse für die vier Teilgebiete der Nordsee

Vergleicht man die in die Karten von Teil 3 (S.20 - 32) eingesetzten Mittelwertszahlen miteinander, so erkennt man, daß die durchschnittlichen Seegangsverhältnisse nach den bearbeiteten Beobachtungen in den vier Teilgebieten der Nordsee nicht sehr unterschiedlich sind. Daß sich die Wellen im Gebiet IV bei Windstärke 8 im Mittel als wesentlich höher und länger ergeben als in den übrigen Teilen der Nordsee, ist nicht zuletzt darauf zurückzuführen, daß der Hauptteil der Beobachtungen auf dem Fladengrund (um 58,5°N, 0,2°E) durchgeführt worden ist (vgl. Abb.1, S.4), und daß dort die Wassertiefe mit rund 150 m wesentlich grösser ist als in den meisten anderen Nordseegebieten. Aus dem Bereich der Norwegischen Rinne und dem Seegebiet unter der Westküste Südnorwegens, wo die Wassertiefen grösser als 200 m sind, liegen so wenig Beobachtungen vor, daß sie für die Mittelwerte von Teilgebiet I kaum ins Gewicht fallen.

Aus den Kartendarstellungen für die vier Teilgebiete der Nordsee geht - in Übereinstimmung mit Tab.8 (S.14) - auch hervor, daß Winde aus dem Sektor West bis Nord im allgemeinen hö-

heren und längeren Seegang aufwerfen als gleich starke Luftbewegungen aus den übrigen Richtungsquadranten. Eine Ausnahme bildet die nordwestliche Nordsee (Teilgebiet IV) bei hohen Windstärken. Sie mag größtenteils auf den Umstand zurückzuführen sein, daß die freien Windbahnen in diesem Seegebiet nach Süden bis Osten zu länger sind als nach Westen und Nordwesten.

