

DEUTSCHER WETTERDIENST
Seewetteramt

Einzelveröffentlichungen
Nr. 47

Die Windgeschwindigkeits-Äquivalente
der Beaufortgrade nach Beobachtungen
deutscher Bordwetterwarten

von
Dr. Hans Walden



Hamburg
1965

Wetteramt München
Dr. H. Walden

EINZELVERÖFFENTLICHUNGEN

des Seewetteramtes

- Nr. 1 (1953): Höhe, Länge und Steilheit der Meereswellen im Nordatlantik (H. U. Roll) (vergriffen)
- Nr. 2 (1952, Nachdruck 1953): Die Nebelverhältnisse der Unterelbe im Jahrzehnt 1939-1948 (G. Hartenstein und H. Markgraf)
- Nr. 3 (1954): Die Nebelverhältnisse im Küstengebiet der Weser- und Emsmündung (P. Bintig und H. Markgraf)
- 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)
- Nr. 5 (1954): Atlas der Monatswerte von Wassertemperatur, Wind und Bewölkung auf dem Seeweg Europa—Südamerika (H. J. Bullig)
- Nr. 6 (1954): Die Größe der Meereswellen in Abhängigkeit von der Windstärke (H. U. Roll) (vergriffen)
- 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)
- Nr. 8 (1956): Die Meereswellen in der südlichen Nordsee (H. U. Roll)
- Nr. 9 (1956): Laderaum-Meteorologie, Vorträge auf der Arbeitstagung am 20. Juni 1956 in Hamburg (vergriffen)
- 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)
- 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)
- Nr. 12 (1957): Sturmwetterlagen bei Island 1950—1954 (H. O. Mertins)
- Nr. 13 (1957): Meteorologische Beobachtungen von deutschen Feuerschiffen der Nord- und Ostsee (Bundesrepublik) 1953
- 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)
- Nr. 15 (1957): Meteorologische Beobachtungen von deutschen Feuerschiffen der Nord- und Ostsee (Bundesrepublik) 1954
- Nr. 16 (1958): Zur Niederschlagsmessung auf See: Ergebnisse von Vergleichsmessungen auf Feuerschiffen und benachbarten Inseln (H. U. Roll)
- Nr. 17 (1958): Statistik der Meereswellen in der Nordsee (O. Petri)
- Nr. 18 (1958): Die winderzeugten Meereswellen. Teil I: Beobachtungen des Seeganges und Ermittlung der Windsee aus den Windverhältnissen (H. Walden).
Heft 1: Text; Heft 2: Abbildungen
- Nr. 19 (1958): Meteorologische Beobachtungen von deutschen Feuerschiffen der Nord- und Ostsee (Bundesrepublik) 1955
- Nr. 20 (1959): Statistisch-synoptische Untersuchung über das Verhalten von Tiefdruckgebieten im Bereich von Grönland (H. Walden)
- Nr. 21 (1959): Zur Theorie der Verdunstung der natürlichen Erdoberfläche (W. Brogmus)
- Nr. 22 (1959): Meteorologische Beobachtungen von deutschen Feuerschiffen der Nord- und Ostsee (Bundesrepublik) 1956
- Nr. 23 (1959): Hamburger Wetterdaten für das Bauwesen (R. Reidat)
- Nr. 24 (1960): 1. Über die Entwicklung von Beschleunigungsschreibern für Seegangsmessungen. — 2. Ein einfaches Verfahren für den kraftschlüssigen Antrieb von Registriertrommeln, insbesondere zur Verhütung von Schriebstörungen bei meteorologischen Registrierungen auf Schiffen (A. Lang)
- Nr. 25 (1960): Die vorherrschenden Winde auf dem Atlantischen Ozean im April und Oktober (H. Markgraf)
- Nr. 26 (1960): Der Seegang bei den Feuerschiffen „Flensburg“, „Kiel“ und „Fehmarnbelt“ (H. Walden)
- Nr. 27 (1960): Ergebnisse der 3. Laderaum-meteorologischen Forschungsfahrt auf TS „Düsseldorf“ an die Westküste Südamerikas, 1958 (E. Höller)
- Nr. 28 (1960): Beiträge zur Meteorologie Mittelamerikas (insbesondere El Salvadors) (W. H. Portig)
- Nr. 29 (1961): Klimatologie des Mittelmeeres. Teil 1: Windkarten (H. Markgraf)
- Nr. 30 (1961): Vergleichsmessungen des Seeganges mit verschiedenen Meßgeräten und ihre Auswertung (H. Walden u. J. Piest)
- Nr. 31 (1961): Die Luft- u. Wassertemperaturen auf den Fischfangplätzen bei Island (H. U. Roll)
- Nr. 32 (1961): Meteorologische Beobachtungen von deutschen Feuerschiffen der Nord- und Ostsee (Bundesrepublik) 1957
- Nr. 33 (1962): Einige Methoden und Probleme aus dem Bereich der Maritimen Klimatologie (H. Markgraf)

DEUTSCHER WETTERDIENST

Seewetteramt

Einzelveröffentlichungen

Nr. 47

Die Windgeschwindigkeits-Äquivalente
der Beaufortgrade nach Beobachtungen
deutscher Bordwetterwarten

von

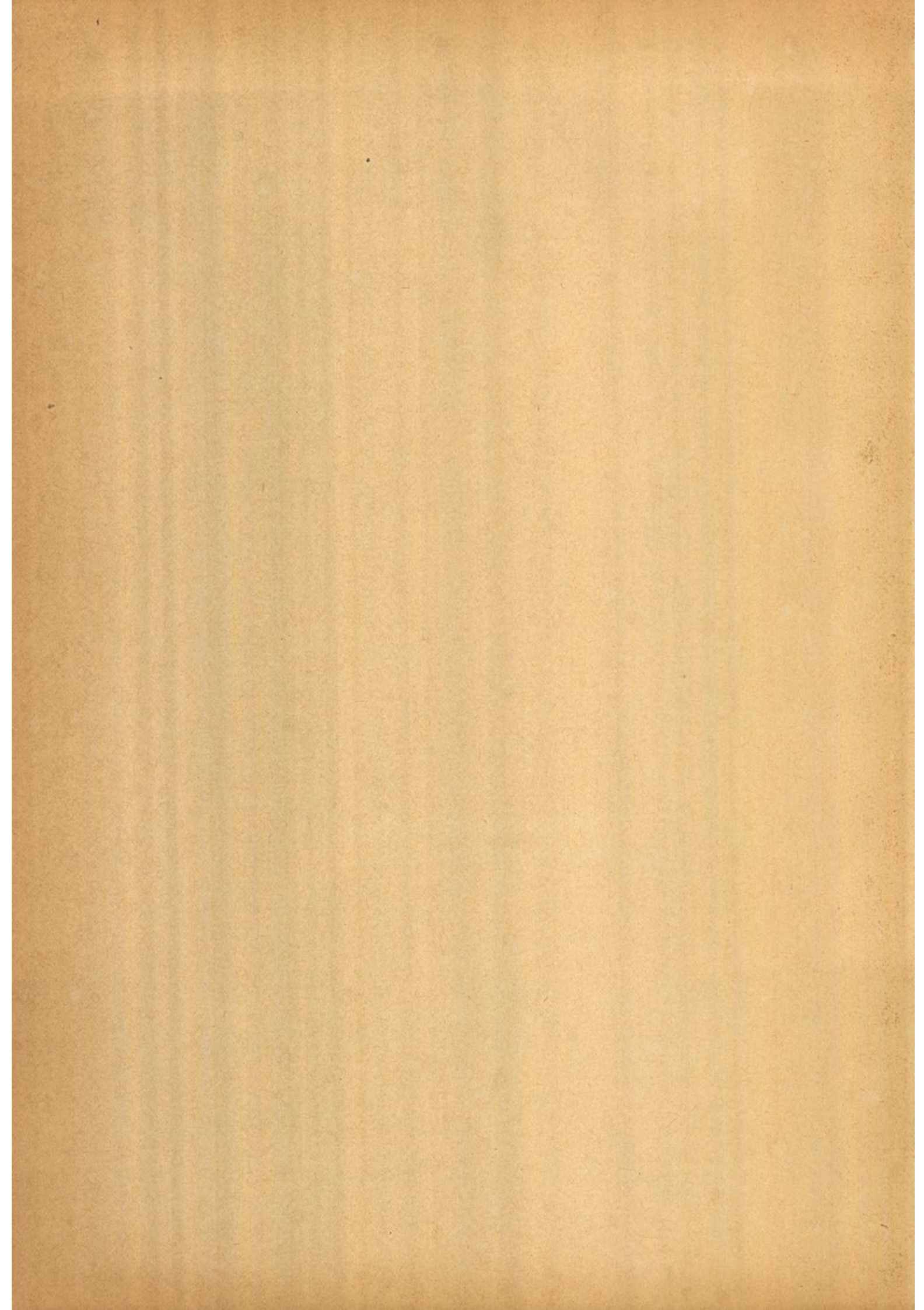
Dr. Hans Walden

Wetteramt München

Handbücherei Nr. 39.36

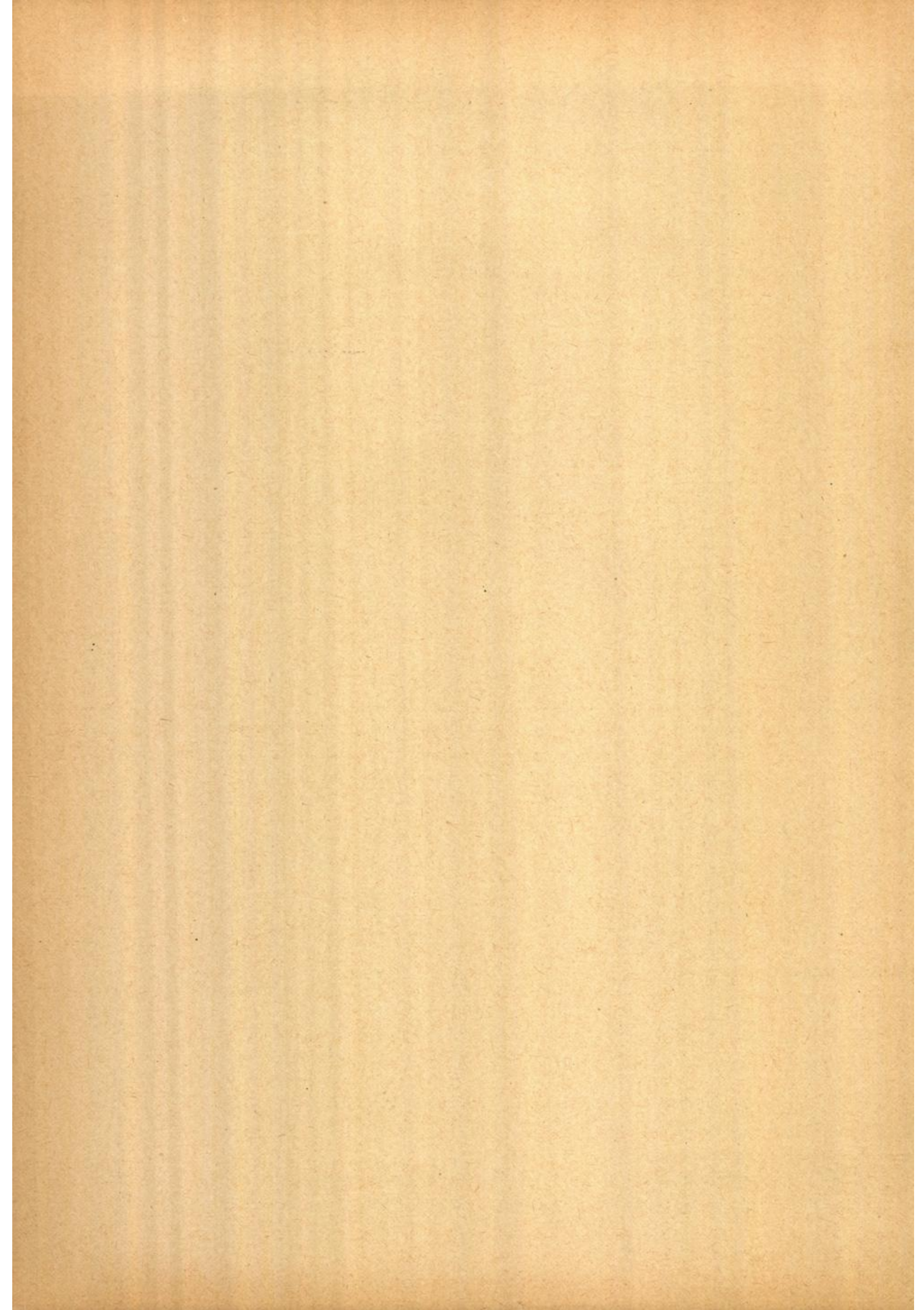


Hamburg
1965



I n h a l t s v e r z e i c h n i s

1. Einführende Bemerkung	Seite 5
2. Welche Faktoren beeinflussen die Windmessung auf Schiffen?	6
2.1 Das Schiff als Störkörper	6
2.2 Reduktion auf das Bezugsniveau 10 m	6
2.3 Die Bewegungen des Anemometers am Mast	8
2.4 Wirkung der Böigkeit	9
3. Probleme der Windschätzung auf See	10
3.1 Bemerkungen zur Beaufort-Skala	10
3.2 Welchen Einflüssen unterliegen die Wind-Kennzeichen der Meeresoberfläche?	11
3.3 Der Einfluß der Wind-Turbulenz	12
3.4 Schätzfehler des Beobachters	13
4. Zusammenstellung von Meß- und Schätzfehlern	14
5. Statistische Gesichtspunkte bei der Auswertung	16
5.1 Meß- oder Schätzwerte als abhängige Variable?	16
5.2 Der Einfluß der Windhäufigkeit	17
5.3 Einfluß der Ordnung der Daten nach Beaufortgraden bzw. gemessenen Windgeschwindigkeiten	21
6. Statistische Bearbeitung der auf den deutschen Bordwetterwarten angestellten Windmessungen und -schätzungen	23
6.1 Die Beobachtungen auf den Bordwetterwarten	23
6.2 Meß-Unterschiede auf den Schiffen und individuelle Schätzfehler	24
6.3 Der Einfluß des Temperaturunterschiedes Luft/Wasser	25
6.4 Korrektur der Anemometermessung	26
6.4.1 Elimination der durch die Bewegungen des Anemometers bedingten Zusatzkomponenten	26
6.4.2 Korrektur im Hinblick auf die Wirkung der Böigkeit auf die Anemometermessung	27
6.4.3 Reduktion der Äquivalentwerte auf 10 m Höhe	28
6.5 Korrigierte Mittelwerte der Äquivalent-Windgeschwindigkeiten für die Beaufortstufen	28
7. Vergleich zwischen Beobachtungen der Bordwetterwarten und Schätzungen in der Nähe befindlicher Fischdampfer .	32
8. Gegenüberstellung der Schätzungen von Nautikern und von meteorologischem Fachpersonal auf den Bordwetterwarten	34
9. Bisherige Äquivalent-Skalen und Vergleich mit den Ergebnissen der vorliegenden Untersuchung	35
10. Ist es zweckmäßig, die internationale Skala der Beaufort-Äquivalente zu ändern?	37
11. Schlußbemerkung und Ausblick	39
Zusammenfassung	41
Abstract	42
Schrifttum	44
Verzeichnis der Tabellen und Abbildungen	48



1. Einführende Bemerkung

Seit mehr als 90 Jahren sind Meteorologen bemüht, für die Stufen der von Admiral Beaufort Anfang des 19. Jahrhunderts eingeführten Windstärke-Skala die zugehörigen Windgeschwindigkeiten zu ermitteln. Wohl die ersten Untersuchungen, die diesen "Beaufort-Äquivalenten" galten, fallen in die 70er und 80er Jahre des vorigen Jahrhunderts; sie wurden auf den Schiffen "Gazelle" 1874-1876 und "Ohio" ausgeführt (F.Waldo, 1888).

Über die Entstehung der Beaufort-Skala und die Versuche zur Auffindung der Windgeschwindigkeits-Äquivalente hat G.Verploegh 1954 und 1956 ausführlich berichtet.

Die erste internationale Vergleichsskala, auf die man sich im Jahre 1926 nach einem Vorschlag von G.C.Simpson (1926) geeinigt hatte und die sich auf die Höhe von 6 m über der Wasseroberfläche bezog, wurde 1946 wieder verworfen. Durchgreifend geändert wurden 1946 die Äquivalente besonders im Bereich der hohen Windgeschwindigkeit. Sehr bald setzten jedoch Bestrebungen ein, auch diese Skala wieder abzuschaffen und neue Äquivalente für die einzelnen Beaufort-Stufen festzusetzen. 1964 beschloß die Kommission für Maritime Meteorologie, eine neue Skala zur Einführung zu empfehlen, bei der u.a. die Äquivalente für die Sturmstärken wieder herabgesetzt werden.

Die Zahl der Untersuchungen, Vorschläge und Äquivalent-Skalen ist nicht gering. Die Ergebnisse widersprechen zum Teil einander, so daß in mancher Hinsicht eine gewisse Verwirrung herrscht. Außerdem werden die Vergleichswerte durch eine ganze Reihe von physikalischen und instrumentellen Faktoren beeinflusst. Weder Schätzung noch Messung auf See ergeben absolut "richtige" Werte. Ebenso können Fehler bei der statistischen Behandlung des Beobachtungsmaterials zu Abweichungen führen.

In der vorliegenden Studie werden diese Schwierigkeiten diskutiert.

Es bot sich auch an, die gleichzeitigen Schätzungen und Messungen auf den deutschen Bordwetterwarten, die dort seit 1950 vorgenommen werden, in die Betrachtung einzubeziehen und die Untersuchungsergebnisse mit den früher aufgestellten Äquivalenten zu vergleichen.

Im Gefolge dieser Betrachtungen erhebt sich die Frage, ob es zur Zeit überhaupt möglich ist, eine für mittlere Verhältnisse gültige oder wenigstens annähernd zutreffende Beziehung zwischen Beaufortstufen und Windgeschwindigkeiten im 10 m - Niveau festzulegen und ob neue Erkenntnisse in einigen Jahren nicht die Festsetzung wieder einer neuen Äquivalent-Skala wünschenswert erscheinen lassen. Fraglich ist auch, inwieweit sich die Schätzart im

Laufe der Jahrzehnte geändert haben könnte, so daß eine rückwirkende Anwendung neuer Skalen unter Umständen wenig sinnvoll wäre.

2. Welche Faktoren beeinflussen die Windmessung auf Schiffen?

2.1 Das Schiff als Störkörper

Das Schiff stellt ein Hindernis für die Luftströmung dar und beeinflußt somit ihre Richtung und Stärke in seiner Nähe. In welchem Umkreis sich dieser Effekt auf die Messung des Windes merklich auswirkt, hängt von der Größe, der Höhe und der sonstigen Beschaffenheit des Schiffes ab. Auch die Richtung, aus der der Wind das Schiff anströmt, spielt eine Rolle. Mit dieser Frage hat sich z.B. G.Verploegh (1954,1956) befaßt. - So ist es selbstverständlich, daß mit Handwindmessern keine Messungen von ausreichender Genauigkeit angestellt werden können; (vgl. auch A.I.Sorkina, 1960) es sei denn, ein Mann begibt sich zu jeder Beobachtung in die höheren Teile eines Mastes. Vergleichende Windmessungen an verschiedenen Orten auf Schiffen sind z.B. von N.V.Kučerov 1962 und von A.I.Sorkina, N.V.Kučerov und N.P.Goptarev 1961 vorgenommen worden. Für diesen Zweck war ein Anemometer auch über dem Bugspriet in 8 m Höhe angebracht worden. Es ergab sich, daß auf den Schiffen "Veojkov" und "Schokalskij" in 18 bzw. 22 m Höhe verlässliche Messungen angestellt werden konnten.

2.2 Reduktion auf das Bezugsniveau 10 m

Als Bezugsniveau für Windangaben wurde 1949 international die Höhe von 10 m über der (mittleren) Wasseroberfläche vereinbart. Für ein verhältnismäßig ruhiges Meer mag die Wahl dieser Höhe eine brauchbare und wahrscheinlich eine der bestmöglichen Lösungen darstellen. Der Seegang erreicht jedoch nicht selten Höhen von mehr als 10 m (gemessen vom Tal zum Kamm der kennzeichnenden Wellen). In diesem Falle wird der Wind in 10 m Höhe über dem Wasser durch die Wellen selbst in sehr starkem Maße beeinflußt. Es ist z.B. von H.Jeffreys 1925 gezeigt worden, daß über den Luvhängen und über den Kämmen ganz andere Windverhältnisse herrschen als in Lee der Wellenberge. Dies haben auch Versuche von A.H.Schooley 1963 ergeben. Übersteigt die kennzeichnende Höhe des Seegangs etwa 15 m, was gelegentlich im Ozean vorkommt, so ist ein ebenes Bezugsniveau 10 m über der Wasseroberfläche überhaupt nicht mehr denkbar. Man sieht, daß bei starken Luftbewegungen Schwierigkeiten grundsätzlicher Art bestehen, die gemessene Windgeschwindigkeit auf ein für alle Windstärkenbereiche geeignetes Bezugsniveau zu bringen.

Auf den meisten Schiffen von 500 bis etwa 2000 BRT Größe wird eine Windmessung in etwa 20 m Höhe als unbeeinflusst durch den Schiffskörper gelten können. Auf größeren Schiffen wird man das Anemometer besser noch höher am Mast anbringen können.

Mit Rücksicht auf die Windgeschwindigkeitsschichtung (vgl. z.B. H.U.Roll 1952) steht man also vor der Aufgabe, die in 20 bis 35 m Höhe gemessene Windgeschwindigkeit auf ein einheitliches, und zwar auf das international vorgeschriebene Bezugsniveau von 10 m über der mittleren Wasseroberfläche reduzieren zu müssen. Mit dieser Frage haben sich eine Reihe von Forschern befaßt. Beispielsweise hat H.U. Roll 1951 das vertikale Windprofil bei instabiler Temperaturschichtung auf einer 23 m hohen Bake im Neuwerker Wattenmeer gemessen. In 25 m Höhe war die Windgeschwindigkeit um 3-5% höher als im Normalniveau 10 m. Die Abweichung nahm mit steigender Windstärke zu; sie betrug bei etwa 5 kn 3%, bei etwa 15 kn 5%. Messungen im freien Wasser werden in Deutschland seit einigen Jahren unter Einsatz einer Boje mit stabilisiertem Mast von K.Brocks angestellt.

Die Windgeschwindigkeit nimmt von der Meeresoberfläche nach oben im Mittel gemäß einem logarithmischen Gesetz zu. Im einzelnen ist diese Zunahme von der Turbulenz in dem betreffenden Luftkörper und somit vom vertikalen Temperaturprofil und daher auch vom Unterschied zwischen Wasser- und Lufttemperatur abhängig. Bei theoretischen Betrachtungen und empirischen Untersuchungen über diese Frage spielt die Abhängigkeit der Windschubspannung und des Reibungskoeffizienten von der Windgeschwindigkeit usw. eine überragende Rolle.

W.J.Pierson hat kürzlich (1964) einige der verschiedenen Theorien bzw. Hypothesen einander gegenübergestellt und für sie die Unterschiede der Windstärke u.a. zwischen 25 und 10 m sowie zwischen 19.5 und 10 m Höhe berechnet. Anscheinend handelt es sich um Ansätze für die sog. neutrale Schichtung. Bei Windgeschwindigkeiten von 20 m/sec differieren diese Unterschiede bei den verschiedenen Theorien im Extremfall um 0.8 m/sec; bei höheren Windstärken ist diese Nicht-Übereinstimmung noch deutlicher. W.J.Pierson, jr. schreibt (S.5192): "The problem of the force of the mean wind as a function of height over the sea is far from being completely solved ...".

Es kommt hinzu, daß auf einem Schiff die Höhe des Anemometers infolge der Schiffsbewegungen Schwankungen unterworfen ist. Weder das Bezugsniveau (jedenfalls bei stärkerem Wind) noch die Meßhöhe sind also klar definiert.

Insgesamt gesehen hat man für praktische Zwecke also nur mit großen Unsicherheiten behaftete "Möglichkeiten", die am Mast in größerer Höhe gemessenen Windgeschwindigkeiten auf das Normalniveau 10 m zu beziehen.

2.3 Die Bewegungen des Anemometers am Mast

Bei den Roll- und Stampfbewegungen des Schiffes führt der Mast - und mit ihm das dort fest angebrachte Anemometer - Bewegungen aus, deren Ausmaß u.a. von der Beschaffenheit des Schiffes, seiner Lage zur Wellenlaufrichtung, seiner Fahrtgeschwindigkeit und von den Eigenschaften des Seegangs abhängt. Holt das Schiff mit einer Periode von 10 sec nach beiden Seiten in Krängungslagen von 15° über, so bewegt sich ein in 20 m Höhe über der Wasserlinie befindliches Anemometer mit einer Durchschnittsgeschwindigkeit von rund 2,1 m/sec oder etwa 4 kn quer zum Schiff. Die Stampfbewegung des Schiffes wirkt sich schwächer aus, weil der Winkel kleiner und die Stampfperiode größer sind als die entsprechenden Größen beim Rollen.

Die Wirkung der Dwars-Schwingungen des Mastes beim Rollen des Schiffes kommt bei stärkeren Querwinden nicht bzw. kaum zum Tragen, weil sie sich dem einkommenden Wind abwechselnd addieren und subtrahieren und sich im Mittel somit etwa aufheben. Herrscht Windstille oder nur schwacher Wind, so kann allerdings, wenn das Schiff in Dünung rollt, wahre Luftbewegung vorgetäuscht werden.

Weht der Wind von vorn oder achtern, so bewirken die Rollbewegungen eine Zusatzkomponente. Diese fällt bei starken Winden praktisch nicht ins Gewicht, erhöht aber die gemessene Windgeschwindigkeit bei schwacher Luftbewegung nicht unbeträchtlich. Wir bringen im folgenden Beispiele für verschiedene Windgeschwindigkeiten, wenn das Schiff mit einer Rollperiode von 10 sec nach beiden Seiten auf 15° überholt und das Anemometer in 20 m Höhe angebracht ist.

Wahre Windgeschwindigkeit	Die sich bei der Messung ergebende Zusatzkomponente
20 m/sec	etwa 0,5% der wahren Windgeschwindigkeit
10 m/sec	" 2%
5 m/sec	" 8%
1 m/sec	" 123%

Bei Stampfbewegungen gleichen sich die Bewegungen des Anemometers am Mast bei Winden genau von vorn oder von achtern aus, während bei Querwinden Zusatzkomponenten auftreten, die durchschnittlich allerdings wesentlich schwächer sein sollten als im Falle der Rollbewegungen.

M.Sanuki und S.Kimura (1953, 1955a, 1955b) haben im Windkanal Versuche angestellt, bei denen das Schwingen des Anemometers am Schiffsmast in kleinerem Maßstab nachgeahmt wurde. Es ergaben sich Unterschiede je nach Art der verwendeten Meßgeräte.

War das (propellerförmige) Anemometer fest mit der Windfahne verbunden, so wurde die Windgeschwindigkeit bei Stampfbewegungen

in Windrichtung (Periode 8 sec) um 10 bis 15% zu niedrig gemessen; dagegen zeigten sich bei Rollbewegungen quer zum Wind (gleichfalls Periode 8 sec) keine wesentlichen Abweichungen von der wahren Windgeschwindigkeit. Die Feststellung gilt für Windgeschwindigkeiten bis 10 m/sec.

Bei Schalenkreuz-Anemometern erhielten Sanuki und Kimura bei Stampfbewegungen in Windrichtung (Stampfwinkel etwa 24° , Periode 8 sec) für Windgeschwindigkeiten $v \leq 5$ m/sec Erhöhungen von v um etwa 20%. Bei Rollbewegungen (quer zum Wind) ergaben sich unter sonst gleichen Versuchsbedingungen sogar Abweichungen von 25%. Die Verfasser betonen, daß die Abweichungen größer sind als man bei Einrechnung der Zusatzkomponenten theoretisch erwarten sollte.

Sanuki und Kimura untersuchten auch den Einfluß des Umstandes, daß das Anemometer zeitweise bzw. durchschnittlich zur Horizontalen geneigt liegt. Bei Schalenkreuz-Anemometern zeigten Krängungen bis 15° für Windgeschwindigkeiten von 20-25 m/sec praktisch keine Auswirkung auf die Messung. Bei stärkeren Neigungen wurden scheinbare Erhöhungen von v bis zu 4% beobachtet.

Eine Korrektur der Windgeschwindigkeitsmessungen im Hinblick auf die Schwingungen des Anemometers infolge der Schiffsbewegungen stößt also auf große Schwierigkeiten, zumal der Umrechnungsbetrag auch von der Bauart des Anemometers abhängig ist.

2.4 Wirkung der Böigkeit

Im Zusammenhang mit der Böigkeit weist die Windstärke Schwankungen von z.T. beträchtlichem Ausmaß auf. E.L.Deacon hat 1951 die Frage untersucht, inwieweit sich Schwankungen der Windgeschwindigkeit v auf die Windmessung auswirken. Bei Versuchen im Windkanal erzeugte er Luftbewegungen mit starker, annähernd sinusförmig verlaufender Schwankung und verglich die mittleren Windgeschwindigkeiten mit den Anzeigen zweier Anemometer unterschiedlicher Konstruktion.

Nach der Theorie übt die Größe $k = b \cdot v_0 \cdot T$ einen bedeutenden Einfluß aus, wobei v_0 die mittlere Windgeschwindigkeit, T die Periode der Schwankungen und b eine Gerätekonstante bedeuten. k wird also klein bei schwachem Wind und rasch aufeinanderfolgenden Schwankungen; k wird groß bei starken Luftbewegungen mit relativ großen zeitlichen Abständen der Schwankungen.

Die Messung von Deacon im Windkanal ergaben, daß bei großem k ($k > 2,0$) die Windstärke von den Anemometern praktisch unverfälscht angegeben wird, während bei kleinen k -Werten v um Beträge zu hoch gemessen wird, die nicht vernachlässigt werden sollten. Setzt man z.B. $v_0 = 2$ m/sec, $T = 5$ sec und die Gerätekonstante = 0.031, so erhält man für k den Wert 0.31 und eine um etwa 10% zu hohe Windgeschwindigkeit. Bei $k \sim 1,0$ (z.B. $v_0 = 6$ m/sec, $T = 5,4$ sec, Gerätekonstante = 0.031) ergibt sich für mittelstarke Schwankungen eine Abweichung von rund + 2,5%.

Bei halbkugelförmigen Schalen ist die Abweichung größer als bei tassenartig geformten Schalen.

Es muß auch bedacht werden, daß bei schwachen Winden die durch die Schiffsbewegungen verursachten Schwankungen der "scheinbaren" Luftbewegungen, denen das Anemometer ausgesetzt ist, eine erhöhte Rolle spielen.

Eine gewisse Bedeutung kommt außerdem der Anzeigeart des Windmessers und der Ablesung der Messung zu. Bei Kontakt-Anemometern, die den Windweg anzeigen, dürfte die Ablesung einwandfrei sein. Allerdings sollen manche Geräte dieser Bauart bei hohen Windgeschwindigkeiten durch Nicht-Erfassung eines Teils der Kontakte zu niedrige Werte geben (vgl. G.Verploegh, 1.9.56, S.10). Anemometer, die die Windgeschwindigkeit selbst und entsprechend ihre Schwankungen anzeigen, stellen den Ablesenden vor bestimmte Schwierigkeiten. Er muß versuchen, den Mittelwert der so angezeigten Windgeschwindigkeit während eines längeren Zeitraums zu ermitteln. Es ist fraglich, ob es in allen Fällen gelingt, diesen Mittelwert exakt zu bestimmen.

Schließlich spielt auch die Dauer der in Betracht gezogenen Anzeige eine Rolle. Mit dieser Frage haben sich z.B. A.I.Sorkina, N.U.Kučerov und N.P.Goptarev (1961) und A.I.Sorkina (1960) beschäftigt.

3. Probleme der Windschätzung auf See

3.1 Bemerkungen zur Beaufort-Skala

Die ursprüngliche Windskala des Admirals Beaufort aus dem Jahre 1806 bezog sich auf die Segelsetzung auf Schiffen, ja, sie war sogar auf einen bestimmten Schiffstyp ausgerichtet.

Es ist sehr zweifelhaft, ob die Windnotierungen im 19. Jahrhundert nach einer einheitlichen Stufeneinteilung erfolgten. Zumindest muß mit nationalen Unterschieden gerechnet werden. Es ist daher auch fraglich, ob man diese alten Beobachtungen bestimmten Äquivalenten der Windgeschwindigkeit zuordnen darf. Hinzu kommt, daß auf maschinengetriebenen Schiffen die Möglichkeit, sich nach der Segelführung zu orientieren, wegfiel, so daß die Seeleute nunmehr auf andere Kennzeichen angewiesen waren. Es wäre erstaunlich, wenn bei diesem Umbruch nicht eine Verschiebung innerhalb der Windskala eingetreten wäre. Die Stufen der Skala waren ohnehin von einer Seemannsgeneration auf die andere überliefert worden, und es muß zumindest als möglich angesehen werden, daß sich hierbei - ähnlich wie z.B. bei der Sprache - bestimmte Änderungen eingestellt haben.

Nach G.Verploegh 1956, S.22, waren noch Anfang des 20. Jahrhunderts mehrere verschiedene Äquivalentskalen für die "Beaufort"-Stufen in Gebrauch, bis schließlich die Auseinandersetzung

zwischen W.Köppen und G.C.Simpson einsetzte.

Erst 1927 wurden von Kapitän P.Petersen die charakteristischen Kennzeichen der Meeresoberfläche bei den verschiedenen "Beaufort"-Windstärken durch eine Veröffentlichung festgelegt.

H.Ertel (1950) hat sich ausführlich mit der Frage beschäftigt, in welche Stufen oder Klassen der Mensch Beobachtungen von der Art der Windgeschwindigkeit auf Grund seiner Psyche einteilt. Er stellt fest, daß es sich im Falle der Windschätzung nicht um direkte Reizempfindungen handelt, sondern daß wir die Windstärke beim Schätzen von der Windwirkung auf Außenweltobjekte ableiten. Ertel findet, daß die Beaufort-Äquivalente mit den Stufen in folgendem Zusammenhang stehen sollten:

$$v_n = \mu (n + \lambda)^\kappa,$$

wobei v_n die Äquivalent-Windgeschwindigkeiten,
 μ, λ und κ Konstante und
 n die Beaufortstufen bedeuten.

Nach empirischer Bestimmung der Konstanten erwies sich die Gleichung als zutreffend für eine auf Beobachtungen beruhende Äquivalent-Skala.

Andererseits sollte folgendes bedacht werden: Sowohl Admiral Beaufort als Kapitän Petersen haben sicher nach bestimmten Erscheinungen suchen müssen, mit denen sie die nach ihren Eindrücken bestehenden Stufen charakterisieren konnten. Es muß als fraglich gelten, ob es ihnen gelang, in jedem Falle ein Kennzeichen ausfindig zu machen, das mit den Grenzen ihrer Empfindungs-Stufe bzw.mit dem Mittelwert der Windgeschwindigkeit für diese Stufe in Übereinstimmung stand, zumal es auf See wenige charakteristische Kennzeichen gibt.

Nach Auffassung des Verfassers ist es daher sehr gewagt, die Beaufort- bzw. Petersen-Skala nachträglich in eine analytische Funktion zu zwingen. Man müßte es vielmehr hinnehmen, daß - sollten es die Beobachtungen zeigen - die Äquivalente für die Beaufortstufen ungleichmäßig ansteigen.

Ebenso muß man sich im klaren darüber sein, daß man u.U. eine grobe Vereinfachung vornimmt, wenn man die Beaufort-Stufen äquidistant auf einem Achsenkreuz aufträgt. Die Abstände zwischen den Mittelwerten der Stufen ändern sich möglicherweise sprunghaft und nicht regelmäßig zunehmend.

3.2 Welchen Einflüssen unterliegen die Wind-Kennzeichen der Meeresoberfläche?

Das Aussehen der Meeresoberfläche hängt nicht nur von der Windstärke, sondern auch von folgenden Faktoren ab:

- Dauer der Windwirkung
- Länge der Windbahn über dem Wasser
- Änderungen der Windstärke

Vorhandensein einer Kreuzsee

Wassertiefe

Vorhandensein von Strömungen des Wassers

Beschaffenheit des Meerwassers

Turbulenzeigenschaften des Windes

Dauer der Windwirkung und Länge der Windbahn über dem Wasser:
Beispielsweise kann das "Rollen der See" nicht bei einem wenig entwickelten Seegang eintreten.

Beim Vorhandensein einer Kreuzsee wird die Gischtbildung bevorzugt. An den Kämmen einer hohen Dünung tritt örtlich Windverstärkung ein, so daß dort eine höhere mittlere Windstärke vorgetäuscht werden kann.

Ebenso kann die Windstärke bei abflauendem Wind überschätzt werden, weil die Anpassung der Wind-Merkmale auf der Meeresoberfläche einige Zeit in Anspruch nimmt.

Die Wassertiefe beeinflußt das Aussehen des Meeres, weil auf (relativ) flachem Wasser eine Versteilung der Wellen und eine Behinderung der Wellenentwicklung einsetzt.

Strömungen des Wassers bewirken eine Änderung der Relativgeschwindigkeit zwischen Wind und Wasser (vgl. L.Otto, 1963). Je nach dem Winkel zwischen Wind- und Stromrichtung beeinflussen sie auch sonst das Aussehen der See.

Die Schaumbildung ist abhängig von der Beschaffenheit des Meerwassers. H.Seilkopf (1955/56) hat gezeigt, daß der Planktongehalt einen Einfluß auf die Ausbildung von Schaum an den Wellen ausüben kann.

Schließlich spielen die Turbulenzeigenschaften des Windes bei der Ausbildung der Windmerkmale auf dem Meere eine Rolle. Auf diesen Punkt kommen wir im nächsten Abschnitt ausführlich zu sprechen.

Bei der Schätzung nach den z.B. in der Petersen-Skala gegebenen Kennzeichen ist also von vornherein mit einer gewissen Variationsbreite in bezug auf die Äquivalente zu rechnen.

3.3 Der Einfluß der Wind-Turbulenz

Eine instabile Schichtung der Luft bildet sich aus, wenn die Atmosphäre dicht über dem Wasser kälter ist als die Wasseroberfläche. Die mit instabiler Luftschichtung einhergehende Turbulenz steht im Zusammenhang mit der Bögigkeit des Windes. Außerdem nimmt die Windgeschwindigkeit bei labiler Luftschichtung in den unteren Metern über der Meeresoberfläche von oben nach unten weniger stark ab als in einer stabil geschichteten Luftmasse. Turbulente Kaltluft "faßt" die See daher besser "an" als ein Luftstrom mit stabiler Schichtung.

H.Regula (1937, 1939) führte auf den deutschen Schiffen "Schwabenland" und "Friesenland" Untersuchungen durch, bei denen Vergleiche zwischen Windschätzungen und Anemometermessungen unter Beachtung der Luftmassenart vorgenommen wurden. Für Warmluft fand er höhere Äquivalente der Windgeschwindigkeit als für Kaltluft.

Auch H.U.Roll (1953/54) stellte Schätzungen der Windstärke auf dem Fischereischutzboot "Meerkatze" den gleichzeitigen Anemometermessungen gegenüber. Die Vergleichsfälle wurden in 9 verschiedene Klassen des Temperaturunterschiedes Luft/Wasser ($T_L - T_W$) eingeteilt. Für die Windstärken 1-6 Bft ergab sich ein deutliches Größerwerden der Windgeschwindigkeits-Äquivalente mit zunehmenden Werten von $T_L - T_W$. Bei Windstärke 7 trat dieser Trend nur sehr schwach in Erscheinung. Nach H.U.Roll ist ein Einfluß der Luftschichtung bei hohen Windgeschwindigkeiten auch nicht zu erwarten, da hier die dynamische Turbulenz überwiegt.

H.Kruhl (1957) beschreibt einen Fall, bei dem auf dem Fischereiforschungsschiff "Anton Dohrn" in 21,5 m Höhe am Mast Windstärke 4 gemessen wurde, während die See spiegelglatt war; man hätte Windstärke 0 Bft geschätzt. Es handelte sich um Warmluft kontinentalen Ursprungs über relativ kaltem Wasser der Ostsee.

Die Unterschätzung der Windstärke (in 10 m Höhe) in stabiler Warmluft und eine gewisse Überschätzung in instabil geschichteten Luftmassen wird also von mehreren Beobachtern bestätigt.

3.4 Schätzfehler des Beobachters

Wir wissen, daß die Beobachter auf See die Windstärke nicht ganz einheitlich schätzen. Es mag daran liegen, daß sie bei Beginn ihrer Fahrens- bzw. Beobachtungszeit unterschiedlich instruiert wurden. Vielleicht lassen die Angaben der Petersen-Skala auch gewisse Auslegungsunterschiede zu. Wahrscheinlich spielt auch die Größe des Schiffes eine Rolle. Mit nationalen Unterschieden ist zu rechnen.

E.Kuhlbrodt (1936) hat eine Gewöhnung der Beobachter an die mittleren Wetterverhältnisse festgestellt, die dazu führte, daß bei häufig schwerem Wetter die Windstärke unterschätzt, in ruhigen Klimazonen überschätzt wurde. Das bedeutet, daß die Schätzungen auch von den Klimagebieten, in denen sie angestellt wurden, abhängig sind.

Manche Beobachter mögen den wahren mit dem scheinbaren Wind verwechseln. Der Verfasser hat auf einem großen Segelschiff bemerkt, daß gelegentlich bei Backstagswind Stärke 2-3 die Schätzung auf "kaum 1" lautete, weil der Flögel (Windsack) entsprechendes anzeigte. Insbesondere bei achterlichen Winden wird der Seemann daher zur Unterschätzung neigen, zumal man allzu leicht in Fahrtrichtung des Schiffes blickt und dann die Wellen ablaufend, also ihre Rückflanke, sieht.

Die Gefahr der Überschätzung besteht dagegen bei schwacher Luftbewegung, wenn außer der eigentlichen (an den Ort gebundenen) Windsee ein dünungsartiger "Fremd-Seegang" vorhanden ist. Ist er kurz und niedrig, so mischt er sich mit der eigentlichen Windsee und ist schwer als "Dünung" zu erkennen. Aber selbst eine etwas längere, nicht zu hohe und noch junge Dünung dürfte den nautischen Beobachter manchmal zu Überschätzungen der Windstärke verleiten. Der Verfasser befürchtet, daß in solchen Fällen besonders auf großen Schiffen die Angaben der Petersen-Skala nicht genau beachtet werden.

Besondere Schwierigkeiten begegnen dem Nautiker offensichtlich beim Schätzen der hohen Windstärken. Es scheint, daß die Angaben der Petersen-Skala eine scharfe Grenzziehung zwischen den verschiedenen Sturmgraden nicht immer ermöglichen. Wahrscheinlich werden die Beobachter auch durch die Höhe des Seegangs, der seinerseits von der Windwirkungsdauer und der Windwirkstrecke abhängt, beeinflusst. Auf manchen Fischereifahrzeugen ist dies nach Berichten der deutschen Bordmeteorologen sicher der Fall. Diese Meteorologen, die fast ständig die Möglichkeit zu Vergleichen haben, sind der Meinung, daß Seeleute häufig die Windstärke unterschätzen. Diese Auffassung hat 1937 auch R.Scherhag (1937) vertreten.

Schließlich mag auch die Beleuchtung (Sonnenschein, Dunkelheit, Nebel usw.) einen Einfluß auf die Schätzung der Windstärke ausüben.

Insgesamt gesehen sind es also eine ganze Reihe von Faktoren, die zu Fehlschätzungen führen können. Überwiegend würden sie eine Überschätzung schwacher Luftbewegung und die Unterschätzung hoher Windstärken bewirken.

4. Zusammenstellung von Meß- und Schätzfehlern

Es ist zweckmäßig, die Ungenauigkeiten, Abweichungen und Fehler bei Messung und Schätzung einander gegenüberzustellen und anzugeben, in welcher Weise sie die Windgeschwindigkeits-Äquivalente im Bereich starker und schwacher Winde beeinflussen. Die für statistische Gegenüberstellungen bzw. für die Berechnung der Windäquivalente besonders ins Gewicht fallenden Faktoren wurden mit einem * versehen.

Schwache Winde:

Einflüsse, die eine fehlerhafte Erhöhung der Windgeschwindigkeits-Äquivalente bewirken

Einflüsse, die eine fehlerhafte Erniedrigung der Windgeschwindigkeits-Äquivalente bewirken

Messung zu hoch durch:

Eckeneffekte an exponierten Plätzen des Schiffes

Messung zu niedrig durch:

Windstörung durch Schiffsaufbauten

* Vertikales Windprofil, insbesondere in Warmluft

- * Schlingerbewegungen des Schiffes (+ 25% oder mehr)
- * Böigkeit des Windes (+ 10%)

Windschätzung zu niedrig:

Strom und Wind in etwa gleicher Richtung

in stabil geschichteter Luftmasse

vom großen Schiff aus

bei achterlichen Winden

schnelle Windzunahme

- * bei ruhiger Lage des Schiffes

Starke Winde

Einflüsse, die eine fehlerhafte Erhöhung der Windgeschwindigkeits-Äquivalente bewirken

Messung zu hoch:

Eckeneffekte an exponierten Stellen auf dem Schiff

- * Vertikales Windprofil (Wirkung der Schlingerbewegungen sehr schwach)

Windschätzung zu niedrig:

Windsee ist noch sehr jung

Wassertiefe gering (Wellen bleiben niedrig)

Strom und Wind in etwa gleicher Richtung

Wind im Auffrischen

(in stabil geschichteter Luft; nach H.U.Roll Einfluß schwach)

vom großen Schiff aus bei achterlichen Winden

Windschätzung zu hoch:

Windverstärkung an den Kämmen hoher Dünung

Strom und Wind in entgegengesetzter Richtung

Wind im Abflauen

in sehr turbulenter Luftmasse

bei Winden von vorn

- * dünungsartiger "Fremd"-See-gang anwesend

Einflüsse, die eine fehlerhafte Erniedrigung der Windgeschwindigkeits-Äquivalente bewirken

Messung zu niedrig:

Störung der Luftströmung durch Schiffsaufbauten

- Evtl. Versager am Kontakt-Anemometer

Windschätzung zu hoch:

- * Kreuzsee vorhanden

Strom und Wind in entgegengesetzter Richtung

Wind im Abflauen

(in sehr instabil geschichteter Luftmasse; nach H.U.Roll Wirkung schwach)

bei Winden von vorn

Insgesamt gesehen zeigt sich also bei schwachen Winden ein Überwiegen der Fehler-Faktoren, die eher zu hohe Windgeschwindigkeits-Äquivalente für die Beaufortstufen verursachen. Dagegen scheinen bei starken Winden die zu Fehlern führenden Einflüsse ziemlich ausgeglichen zu sein.

5. Statistische Gesichtspunkte bei der Auswertung

5.1 Meß- oder Schätzwerte als abhängige Variable?

Sowohl die Meß- als auch die Schätzwerte bei der Beobachtung der Windstärke sind - wie gezeigt wurde - einer Reihe von Unsicherheiten unterworfen. Insgesamt gesehen sind die geschätzten Angaben wohl aber doch den größeren Imponderabilien unterworfen, so daß man die Messungen als die zuverlässigeren Daten betrachten kann. Jedenfalls befinden sich die beiden Zahlenreihen in "unvollständiger Korrelation".

W.Köppen (1916) hat die Frage aufgeworfen, in welcher Weise das Material für Vergleiche zwischen geschätzten und gemessenen Werten zur Feststellung der Windgeschwindigkeits-Äquivalente für die Beaufortstufen behandelt werden soll. Er sprach sich dafür aus, daß die Daten nach Klassen der Meßwerte (in m/sec) geordnet werden. Als Begründung gab er an,

- 1.) daß es sich bei den gemessenen Größen um Mittelgrößen aus einem längeren Zeitraum, bei den Schätzwerten dagegen um Momentangrößen handelt und daß
- 2.) die Mittelbildung bei der Variablen (Kollektiv-Gegenstand) die Extreme abschwäche.

Zu 1) ist zu sagen, daß heute sowohl Messung wie Schätzung auf der Beobachtung während eines bestimmten und kaum unterschiedlichen Zeitraumes fußen sollen (vgl. auch J.Richter 1956/57) und daß die Kennzeichen der Petersen-Skala wenigstens teilweise eine gewisse Mittelung der Windstärke in sich schließen. Köppens erstes Argument für das Ordnen nach Meßwerten ist für neuzeitliche Vergleiche also nicht mehr von ausschlaggebender Bedeutung. - Beim zweiten Gesichtspunkt Köppens ist zu beachten, daß beide Ordnungen - nach Beaufortstufen bzw. nach Meßwerten - zu Verschiebungen insbesondere bei den Extremwerten führen. Wünscht man die Windgeschwindigkeits-Äquivalente als Funktion der verschiedenen Beaufort-Windstärken zu ermitteln, so erhält man eine fehlerhafte Abstumpfung der Äquivalentwerte, wenn man das Material nach Beaufortstufen ordnet und für sie Mittelwerte der gemessenen Windgeschwindigkeiten bildet. Das bedeutet, daß sich zu hohe Äquivalente bei schwachen Winden, zu kleine bei den Sturmstufen ergeben. Geht man umgekehrt vor, d.h. ordnet man nach Klassen der gemessenen Windgeschwindigkeiten, so werden bei der gewählten Darstellungsart (Windgeschwindigkeits-Äquivalente als Funktion der Beaufortstufen)

die Extreme etwas übertrieben. In diesem Falle erhält man bei schwacher Luftbewegung zu kleine, bei Sturm zu große Äquivalentzahlen. Als vorläufigen Behelf hätte man die mittleren Werte der auf die zwei Arten berechneten Äquivalente benutzen können.

Daß sich die beiden Ordnungsarten in der beschriebenen Weise auswirken, hat seine Ursache wenigstens zum Teil in dem Einfluß der "Grundhäufigkeit" der Windstärken. Wir werden im nächsten Abschnitt ausführlich auf diese Frage zu sprechen kommen.

5.2 Der Einfluß der Windhäufigkeit

Es gibt keine Klimazone der Erde, in der die verschiedenen Windstärken innerhalb eines größeren Beobachtungskollektivs mit gleicher Häufigkeit auftreten. Diese Feststellung gilt sowohl für geschätzte Beaufortstufen als auch für gemessene Windgeschwindigkeiten. Mit großer Bevorzugung trifft man in unseren Breiten auf See Windstärken bei 4 bis 5 Bft an, während Stürme selten sind. Aus einer großen Zahl von Winddaten läßt sich also eine Häufigkeitsverteilung der Windstärken $f(F)$ bzw. der Windgeschwindigkeiten $f(v)$ gewinnen, die ihr Maximum bei Bft 4 oder 5 besitzt und für Bft 12 einen relativ sehr kleinen Wert annimmt. Wir wollen diese Verteilung die "Grund-Häufigkeit" der Windstärke nennen. Sie besitzt den Charakter einer Grund-Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von Windstärken.

Die Bedeutung der Grund-Häufigkeit für die Festlegung der Beaufort-Äquivalente aus Vergleichsbeobachtungen (Schätzung und Messung) möge an einem einfachen Beispiel dargelegt werden. Für die Windgeschwindigkeit $v = 48$ kn ist $f(v)$ wesentlich größer als für $v = 55$ kn. Nehmen wir an, $v = 48$ kn werde h -mal so häufig beobachtet wie $v = 55$ kn. Nach der internationalen Beaufort-Skala von 1946 gehören beide v -Werte zur Beaufortstufe 10. Vorläufig - nur für dieses Beispiel - sei angenommen, daß diese Äquivalente "richtig" seien. Beobachtungen von $v = 48$ kn würden bei der Zuordnung von Windgeschwindigkeiten zur "Klasse" 10 Bft also h -mal so häufig eingehen wie solche mit $v = 55$ kn. Demzufolge würde die Bildung des gewöhnlichen arithmetischen Mittels zu einem unrichtigen Mittelwert führen. Die kleineren Windgeschwindigkeiten würden stärker berücksichtigt werden als die großen. Dies ist unzulässig; denn, will man einen die ganze Beaufortstufe 10 repräsentierenden Mittelwert erhalten, müssen alle v -Werte mit gleichem Gewicht eingehen.

Hier taucht die Frage auf, ob es nicht vielleicht zweckmäßig ist, die Windgeschwindigkeits-Äquivalente für die Beaufortstufen so zu berechnen, daß die Häufigkeit der im Beaufort-Intervall vorkommenden Windgeschwindigkeiten nicht eliminiert wird. Dies wäre möglicherweise praktisch in Fällen, in denen man eine Be-

ziehung zwischen den Windstufen und einer anderen windbedingten Erscheinung, z.B. der Wellenhöhe, zu erkunden wünscht. In unserem Beispiel ginge die Grund-Häufigkeit der Windstärken bei Äquivalenten und Wellenhöhen in vermutlich gleicher Weise ein.

Es besteht aber kein Zweifel, daß wir eine von der Grund-Häufigkeit unabhängige Skala benötigen; anderenfalls müßte für jede Klimazone eine besondere Äquivalentskala berechnet werden. (Die Häufigkeitsverteilung der Windstärken ist in den Tropen eine ganz andere als etwa im nördlichen Nordatlantik.)

Leider scheint der Einfluß dieser Grundhäufigkeit nicht immer eliminiert worden zu sein. Hierdurch ergeben sich unrichtige Mittelwerte und Grenzen der im Windgeschwindigkeitsmaß ausgedrückten Beaufort-Stufen.

Es erscheint nicht ausgeschlossen, daß sogar eine Abhängigkeit der Schätzgenauigkeit von den Klimazonen durch diese statistische Ungenauigkeit vorgetäuscht werden kann.

Ordnet man bei Auszählungen den einzelnen Beaufortstufen die gleichzeitig gemessenen Windgeschwindigkeiten v zu, so findet man innerhalb der Stufen auch v -Werte, die außerhalb der festgelegten Stufengrenzen liegen; die Stufe Bft 10 enthält also (nach unserer vorläufigen Annahme) nicht nur Geschwindigkeiten von 48 bis 55 kn, sondern z.B. auch 43 kn und evtl. auch 58 kn. Alle diese v -Werte treten mit unterschiedlicher Häufigkeit auf. Die Verteilung nähert sich bei mittleren Windstärken der Gaußschen Normalverteilung. Bei schwachen Winden und den Sturmstärken ist die Verteilungsfunktion jedoch deutlich unsymmetrisch. J. Richter (1956/57) hat Beispiele für die Schiefe der Verteilungen gebracht.

Welche Faktoren beeinflussen die Häufigkeitsverteilung des Kollektivgegenstandes (v -Werte) in einer bestimmten Beaufortstufe? Es sind dies:

- 1) Die eigentliche Beziehung zwischen geschätzten und gemessenen Windwerten, also die wahren Beaufort-Äquivalentgrößen. Sie ist gekennzeichnet durch die wahren Grenzen und den wahren Mittelwert der v -Werte für die betreffende Beaufortstufe.
- 2) Die wegen der Unsicherheit von Messung und Schätzung bzw. der Variabilität der entsprechenden Werte zu erwartende Zufallsstreuung bewirkt eine einfache symmetrische Gaußverteilung. Ihr Maximum mußte an der Stelle des durch die wahren (nicht bekannten) Beaufort-Äquivalente gegebenen v -Mittelwertes für die betreffende Stufe liegen.
- 3) Die Grundhäufigkeit der Windstärke und somit der Einfluß des Windklimas.

Abb. 1 stellt diese Sachlage schematisch dar. Die oben unter 1) und 2) aufgeführten Faktoren bilden die Häufigkeitsverteilung

Kurve A. Die gestrichelten senkrechten Linien sollen die wahren Grenzen der Beaufortstufen bezeichnen. In der Abszisse sind die Windgeschwindigkeitswerte v (z.B. in kn) aufgetragen. Überlagert man der Verteilung A die linear abfallende Grundhäufigkeit C, deren Wert im Mittelwert der Beaufortstufe auf 1.0 gebracht wurde, so ergibt sich die Verteilung B. Das Maximum von B ist gegenüber C in Richtung der höheren Grundhäufigkeit verschoben.

Bei unseren Auszählungen muß der umgekehrte Weg beschritten werden. Gegeben ist die Verteilung B (Verteilung der v -Werte innerhalb der Beaufortstufe). Außerdem steht die Grundhäufigkeit der v -Werte innerhalb des Gesamtmaterials, die allerdings nicht linear verläuft, zur Verfügung. Aus Multiplikation von B und C kann die Verteilung A (annähernd) bestimmt werden.

Setzt man als Argument nicht die geschätzten Beaufortstufen, sondern die gemessenen Windgeschwindigkeiten, bildet man also Durchschnittswerte der Beaufortstufen für die verschiedenen v -Knotenzahlen, so ordnen sich den v -Werten verschiedene Beaufortwerte zu, und zwar bevorzugt diejenigen mit der höheren Beaufort-Grundhäufigkeit. Auch bei dieser Anordnung muß also dafür gesorgt werden, daß die Häufigkeiten mit gleichem Gewicht eingehen, indem man die Grundhäufigkeit der Beaufortstufen berücksichtigt.

Wir hatten in Abb.1 für die Grundhäufigkeit eine lineare Verteilung angenommen. Dadurch ergibt sich keine Schiefe von B. Sie wäre aber aufgetreten, wenn Kurve C gekrümmt gewählt worden wäre. Tatsächlich besitzen die Grundhäufigkeiten in unserem Falle bei schwachen Winden und Sturmstärken eine konkave Krümmung nach oben.

Ein rechnerisches Verfahren zur Berücksichtigung der Grundhäufigkeit konnte in der Literatur nicht ausfindig gemacht werden, so daß hier leider nicht einfach auf frühere Veröffentlichungen hingewiesen werden kann.

Die zur Elimination der Grundhäufigkeit bei der Bearbeitung unseres Beobachtungsmaterials angewendete Methode wird im folgenden beschrieben.

Mit "Stufenhäufigkeit" S_j ($j = 1 \dots k$) wird die absolute Häufigkeit der Variablen innerhalb einer bestimmten Klasse des Arguments bezeichnet. Ist das Beobachtungsmaterial nach Windgeschwindigkeiten v (Argument) geordnet, so findet man für v bestimmte Anzahlen von gleichzeitig geschätzten Beaufortstufen S_j . Gegeben ist außerdem die Grundhäufigkeit G_j ($j = 1 \dots k$) für das gleiche Intervall $1 \dots k$. Die Verteilungen der G_j und der S_j sind in Abb.2 für ein konkretes Beispiel ($v = 48$ kn) wiedergegeben. Die Ordinatenkala für G_j und S_j ist unterschiedlich. S_j schwankt zwischen 1 und 27; G_j zwischen 391 und 29. Die G_j -Verteilung ist ungeglättet; ihr Auf und Ab ist bedingt durch die Bevorzugung ganzer Beaufortstufen (z.B. 9 Bft)

vor Übergangsangaben (z.B. 9-10). Verbindungslinien zwischen den Größen wurden nur zum Zwecke besserer Übersicht gezeichnet.

Bei der Elimination der Grundhäufigkeiten zur Korrektur der S_j ist Bedingung, daß sich die Summe der absoluten Stufenhäufigkeiten nicht ändert. Es muß daher gelten:

$$\sum_{j=i..k} S_j = \sum_{j=i..k} S_{\text{korr.},j}$$

Anderenfalls würde der später zu berechnende Mittelwert M gefälscht sein. Im folgenden wird eine Rechnung angegeben, bei der diese Bedingung erfüllt ist.

Am besten verständlich wird das Prinzip der Korrektur, wenn man als Maßnahme zur "Normierung" der G_j den Ausdruck

$$\frac{\sum_{j=i..k} G_j}{G_j}$$

bildet. Eine Multiplikation der G_j mit dieser Größe würde eine Vergrößerung aller G_j auf $\sum G_j$ bewirken (vgl. Abb.2). Im Produkt

$$\frac{\sum G_j}{G_j} \cdot S_j$$

ist dann der Einfluß der Grundhäufigkeit auf die Verteilung der S_j -Werte aufgehoben. Allerdings muß jetzt so reduziert werden, daß die Summe der absoluten Häufigkeiten der neu gewonnenen Größen

$$\frac{\sum G_j}{G_j} \cdot S_j$$

auf $\sum S_j$ zurückgeführt wird. Dies geschieht durch Multiplikation mit

$$\frac{\sum_{j=i..k} S_j}{\sum_{j=i..k} \left(\frac{\sum_{j=i..k} G_j}{G_j} \cdot S_j \right)}$$

Die Summe $\sum_{j=i..k} G_j$ ist für ein und dieselbe Klasse des Arguments eine Konstante und fällt durch Kürzung heraus. (Man hätte bei "Normierung" der G_j von vornherein statt $\frac{\sum G_j}{G_j}$ einfacher $\frac{1}{G_j}$ bilden können.)

Für jedes j , in unserem Falle also für jede Beauforthäufigkeit, erhält man eine korrigierte "absolute Häufigkeit" $S_{\text{korr.},j}$

$$S_{\text{korr.,j}} = \frac{S_j}{G_j} \cdot \frac{j=i \dots k \sum S_j}{\sum_{j=i \dots k} \frac{S_j}{G_j}} \quad (1)$$

Der in Beaufortstufen B_j ausgedrückte Mittelwert pro v -Klasse ergibt sich daraus zu:

$$M = \frac{j=i \dots k \sum (B_j \cdot S_{\text{korr.,j}})}{j=i \dots k \sum S_j} \quad [\text{Bft}] \quad (2)$$

Die korrigierten Stufenhäufigkeiten sind in Abb.2 mit eingesetzt.

Im vorliegenden Beispiel lag der scheinbare Mittelwert ohne Berücksichtigung der Grundhäufigkeit bei "M" = 8.41 Bft; nach Vornahme der Korrektur erhöht er sich auf M = 9.33 Bft.

Ordnet man das die Vergleichswerte enthaltende Beobachtungsmaterial nach Beaufortgraden (Argument), so läßt sich die gleiche Korrekturmethode anwenden. In Abb.2 würden dann in der waagerechten Skala statt der Beaufortgrade $i \dots k$ nunmehr die Klassen der Windgeschwindigkeiten v_j (in m/sec bzw. in kn) erscheinen. Die Formel für S_{korr} bleibt unverändert; dagegen ist der Mittelwert wie folgt zu berechnen:

$$M = \frac{j=i \dots k \sum (v_j S_{\text{korr.,j}})}{j=i \dots k \sum S_j} \quad [\text{m/sec}] \text{ bzw. } [\text{kn}] \quad (3)$$

$\sum S_{\text{korr.,j}}$ ist tatsächlich = $\sum S_j$; denn es ist mit $j=i \dots k \sum S_j = \text{const.}$

und $\sum_{j=i \dots k} \frac{S_j}{G_j} = \text{const.}$

$$\begin{aligned} j=i \dots k \sum S_{\text{korr.,j}} &= \sum_{j=i \dots k} \left(\frac{S_j}{G_j} \cdot \frac{j=i \dots k \sum S_j}{\sum_{j=i \dots k} \frac{S_j}{G_j}} \right) \\ &= \sum_{j=i \dots k} \frac{S_j}{G_j} \cdot \frac{j=i \dots k \sum S_j}{\sum_{j=i \dots k} \frac{S_j}{G_j}} = \sum_{j=i \dots k} S_j \end{aligned}$$

5.3 Einfluß der Ordnung der Daten nach Beaufortgraden bzw. gemessenen Windgeschwindigkeiten

Was wird durch die Berücksichtigung der Grundhäufigkeit bewirkt? Man kann es sich vielleicht an Abb.3a und b am besten klar machen. Es sind in Abb.3a rein schematisch die absoluten Häufigkeits-Verteilungen (Zahl der Beobachtungen) der gemessenen v für die gleichzeitig geschätzten Beaufortgrade aufgezeichnet. Die verschiedenen Verteilungen überlagern einander; denn zu $v = 3$ kn wurden einmal 1 Bft, ein andermal 2 Bft und gelegentlich auch 0 Bft geschätzt. Die Einrechnung der Grundhäufigkeit bewirkt, daß die Summe der absoluten Häufigkeit

für jeden v -Wert der Abszisse auf die gleiche Höhe gebracht wird (Abb.3b, schematisch). Das arithmetische Mittel der in der Verteilung der Beaufortgrade (z.B. 2 Bft) enthaltenen v rückt in unserem Beispiel (kleine Bft) nach links: Es ergibt sich ein kleinerer Mittelwert. - Die Schiefe der Verteilungen ist, sofern sie durch die Grundhäufigkeit hervorgerufen wurde, beseitigt.

Weiter oben war die u.a. von W.Köppen angesprochene Tatsache erwähnt worden, daß man verschiedene Mittelwerte erhält, wenn man einmal nach Bft-Schätzungen, das andere Mal nach gemessenen Windgeschwindigkeiten v ordnet. In Abb.3a und b ist der Grund für dieses Phänomen leicht zu erkennen. Würde man an der Stelle des Mittelwertes für 2 Bft, in unserer schematischen Darstellung bei $v = 5,5$ kn, den Mittelwert der Beaufortgrade bilden, so erhielte man nicht 2 Bft, sondern einen größeren Wert, weil mehr Beobachtungen von Bft 3 eingehen als von Bft 1.

Diese Erscheinung wird immer dann auftreten, wenn die Einzelverteilungen (0,1,2... Bft) trotz der Eliminierung der Grundhäufigkeit schief oder verschieden breit sind. Sie ist infolge von Zufälligkeiten bei den Beobachtungen durch die unterschiedliche Breite der Beaufort-Intervalle, durch die Bevorzugung bestimmter Schätz- oder Meßgrößen usw. durchaus zu erwarten.

Im Beispiel der Abb.3 wurde nach Beaufortschätzungen eingeteilt. Ordnet man umgekehrt vorgegebenen v -Werten (kn) die zugehörigen Beaufortgrade zu, so ergeben sich Verteilungen der v wie in der (schematischen) Abb.4. Sie werden auch nach Elimination der Grundhäufigkeit unterschiedliche Schiefe und Breite besitzen. Läge das arithmetische Mittel für $v = 4$ kn an der in der Abb. angegebenen Stelle (zwischen 1-2 und 2 Bft), so würden bei der Rückrechnung neben der Häufigkeit von $v = 4$ kn an dieser Stelle die Beobachtungen von 3 kn und 5 kn mit gleichen Häufigkeiten und außerdem Beobachtungen von 6 und 7 kn eingehen. Der so bestimmte Mittelwert würde also höher ausfallen.

Besonders stark müssen diese Unterschiede bei sehr kleinen Windgeschwindigkeiten in Erscheinung treten, weil die Verteilungen bei 0 Bft "abbrechen". In der Praxis ist es so, daß bei kleinen Windstärken die Ordnung nach Beaufortgraden zu hohe Äquivalente der Windgeschwindigkeit v , die Ordnung nach v -Werten zu kleine Äquivalente von v für die Beaufortstufen ergeben.

Es kann nicht ohne weiteres gesagt werden, welche Ordnung, nach Beaufortstufen oder nach Windgeschwindigkeiten, die "richtigere" ist. Dies hängt von der Beschaffenheit der Einzelverteilungen und der Beziehungen zwischen ihnen ab und kann von Fall zu Fall verschieden sein. Ausgleichsrechnungen für alle Verteilungen würden sehr aufwendig sein.

Wenn man den beschriebenen statistischen Effekt rechnerisch nicht aus-

schalten kann, so dürfte es zweckmäßig sein, sich bei deutlichen Unterschieden eines mittleren Wertes zu bedienen.

6. Statistische Bearbeitung der auf den deutschen Bordwetterwarten angestellten Windmessungen und -schätzungen

6.1 Die Beobachtungen auf den Bordwetterwarten

Auf den deutschen Bordwetterwarten wird der Wind seit einer Reihe von Jahren sowohl geschätzt als auch mit Schalenkreuz-Anemometern gemessen. Die Parallel-Beobachtungen werden auf dem Fischereischutzboot "Meerkatze" (673 BRT) seit 1950, auf dem Fischereiforschungsschiff "Anton Dohrn" (999 BRT) seit 1955 und auf dem Fischereischutzboot "Poseidon" (934 BRT) seit 1957 ausgeführt. Die Aufzeichnungen der Bordwetterwarte des Fischereiforschungsschiffes "Walther Herwig" seit 1963 können nicht verwendet werden, weil die Windmessung während langer Zeiträume durch bestimmte Schiffsumbauten beeinträchtigt war.

Auf den drei erstgenannten Schiffen befanden sich Anemometer des Typs Rosenhagen 90 L am Mast in etwa 20 m; in letzter Zeit sind sie auf allen Schiffen in 21,5 m Höhe angebracht. Schalenkreuz und Windfahne sind getrennt. Die Meßwerte werden elektrisch über Kabel in der Bordwetterwarte angezeigt. Der Zeiger des Anzeigegerätes folgt den Windschwankungen; das Fachpersonal der Bordwetterwarte hat Anweisung, möglichst den Mittelwert zu bestimmen und entsprechend zu notieren. Beeinflussungen der Windmessung durch den Schiffskörper sind in dieser Höhe ganz unwahrscheinlich. Die Instrumente werden im Hafen vom Instrumentenamts Hamburg des Deutschen Wetterdienstes gewartet.

Meteorologe und Funkwettertechniker, die "Besatzung" der Bordwetterwarte, waren von Anfang an aufgefordert, die Schätzung der Windstärke nach der Petersen-Skala unabhängig von der Anzeige des Anemometers vorzunehmen. Es kann angenommen werden, daß in der weitaus überwiegenden Mehrzahl aller Beobachtungen entsprechend verfahren wurde.

Die Schiffe suchten fast ausschließlich die Fangplätze der deutschen Hochsee-Fischerei in der Nordsee, bei Island, im Lofotengebiet und in der Davis-Straße auf. Die meisten Beobachtungen wurden auf freier See angestellt; jedoch ist nicht auszuschließen, daß eine gewisse Anzahl von ihnen in Küstennähe gewonnen worden ist. Zwischenwindstärken (z.B. 7-8 Bft) wurden bei der Schätzung nur bis zum Jahre 1962 angegeben, weil von diesem Zeitpunkt an für die Speicherung auf Lochkarten volle Beaufortstufen (7,8 usw.) verlangt wurden. Die Zwischenwindstärken sind daher mit wesentlich geringerer Häufigkeit vertreten als die ganzen Beaufortgrade.

Die Besatzungen der Bordwetterwarten waren angewiesen, die Anemometer-Anzeige einige Minuten lang zu beobachten und den mittleren Wert ins Tagebuch aufzunehmen. Bei der Auszählung zeigte sich, daß manche Beobachter gerade Knotenzahlen bei den Mittelbildungen bevorzugten. Dies ist jedoch nicht von wesentlichem Einfluß für die statistische Bearbeitung des Beobachtungsmaterials.

Für jede Fahrt liegt ein Beobachtungstagebuch vor. Diese Bücher wurden nach Schiffen und Wetterfunktechnikern * geordnet; denn fast ausschließlich sie (und nicht die Bordmeteorologen) haben die Beobachtungen angestellt. Wenn sehr viele Reisen eines Funkwettertechnikern auf ein und demselben Schiff vorlagen, wurden für die folgende erste Statistik nur etwa 10 bis 15 bearbeitet. Sie wurden willkürlich ohne Rücksicht auf das Fahrtgebiet oder auf die durchschnittliche Wetterlage ausgewählt. In anderen Fällen wurden alle Reisen des Funkwettertechnikern auf dem betr. Schiff berücksichtigt, aber nur dann, wenn es mindestens 7 waren.

Durch diese Einteilung ergaben sich 11 Teilkollektive. Sie enthalten insgesamt 16357 gleichzeitige Beobachtungen von (geschätzter) Windstärke und Anemometermessung.

Allerdings werden bei dieser Auswahl nicht alle vorhandenen Beobachtungen der Bordwetterwarte auf "Meerkatze", "Poseidon" und "Anton Dohrn" erfaßt. Bei Sturmstärken sollte aber das gesamte Beobachtungsmaterial für die statistische Auswertung zur Verfügung stehen. Für eine gesonderte Bearbeitung der Windstärken ≥ 9 Bft sind die Beobachtungen ≥ 7 Bft auch aus den vorher nicht berücksichtigten Tagebüchern ausgezogen und zusammengestellt worden. Hier die Häufigkeiten der Windstärken 9 und mehr im Gesamtmaterial:

Bft	9	:	391	Fälle
"	9-10	:	92	"
"	10	:	144	"
"	10-11	:	34	"
"	11	:	31	"
"	11-12	:	12	"
"	12	:	12	"

Die Zahlen stellen zugleich die Grundhäufigkeiten dar.

Abb.5 gibt ein Bild von dem sehr starken Abfall des Windvorkommens (Grundhäufigkeit) im Gesamtmaterial für ≥ 7 Bft.

6.2 Meß-Unterschiede auf den Schiffen und individuelle Schätzfehler

Für jede der wie beschrieben gebildeten 11 Tagebuchgruppen gesondert wurden den nach Beaufortstufen geschätzten Windstärken die (nahe-

* Ihre Namen sind: J.Buhr, K.Fugmann, R.Hohmann, G.Schneider, und E.Teetzen

zu) gleichzeitig vom Anemometer angezeigten Windgeschwindigkeiten zugeordnet. Als Argument dienen also die Schätzungen, als Variable (Kollektiv-Gegenstand) die Messungen. Bei dieser Auszählung wurde außerdem nach 4 Klassen des Temperaturunterschiedes Luft/Wasser unterschieden.

Von den in Knoten vorliegenden Original-Meßwerten wurden zunächst für die geschätzten Beaufortstufen die arithmetischen Mittel gebildet. Tabelle 1 enthält eine Gegenüberstellung der Ergebnisse für die 11 Gruppen. Die Buchstaben B., F., H., S. und T. bezeichnen die 5 beteiligten Funkwettertechniker (Buhr, Fugmann, Hohmann, Schneider und Teetzen). Insgesamt wurden 16.357 Beobachtungen verwendet.

Die Unterschiede sind nicht unbeträchtlich. Bei Windstärke 1 liegen der höchste und niedrigste Mittelwert um 2,5 kn auseinander, wenn man von dem mit Daten schlecht besetzten F.- "A.Dohrn" absieht. Für Windstärke 8 beträgt die entsprechende Differenz 1,8 kn, bei 9 Bft sogar 3,5 kn (B.- "A.Dohrn" wegen schlechter Belegung außer Acht lassen).

Es stellen sich einige beachtenswerte Unterschiede heraus. Beispielsweise hat der Beobachter H. bei vielen Windstärken niedriger als die übrigen Funkwettertechniker geschätzt. So ergeben sich bei seinen Beobachtungen unter anderem für Bft 0 und Bft 6 bis 9 die höchsten Windgeschwindigkeits-Äquivalente. - In der Zusammenfassung nach Schiffen fallen die niedrigen Äquivalente von FSB "Poseidon" zwischen Bft 1-2 und Bft 7-8 auf.

Insgesamt gesehen sind die Abweichungen und somit die systematischen Fehler offenbar gering.

Wir suchen nach systematischen Ursachen für diese Unterschiede, wenn wir das Material nach Beobachtern unter Nicht-Berücksichtigung der Schiffe und dann nach Schiffen unter Außerachtlassung der Beobachter zusammenfassen (Tab.2). Wie Tab.1, enthält Tab.2 die Meßwert-Mittelwerte. Es sei betont, daß es sich um noch unkorrigierte Werte handelt. Sie werden für den zur Frage stehenden Vergleich als ausreichend betrachtet, da es hier nur darum geht, im wesentlichen qualitativ eventuelle Unterschiede zwischen Schiffen oder zwischen den verschiedenen Beobachtern aufzudecken. Der Aufwand für die Rechnung mit korrigierten Werten würde sich nicht lohnen.

6.3 Der Einfluß des Temperaturunterschiedes Luft/Wasser

Um nach Möglichkeit auch den Einfluß der Luftmasse bzw. der Turbulenzgröße ableiten zu können, wurde bei der Auszählung auch nach 4 Klassen des Temperaturunterschiedes Luft/Wasser ($\Delta T = T_L - T_W$) eingeteilt, und zwar nach den $T_L - T_W$ -Klassen

$$T_L - T_W : \begin{array}{l} > 0^{\circ} \\ 0,0^{\circ} \text{ bis } - 1,0^{\circ} \end{array}$$

$$T_L - T_W : \begin{array}{l} - 1,1^{\circ} \text{ bis } - 2,5^{\circ} \\ < - 2,5^{\circ} \end{array}$$

Tab.3 enthält für das Gesamtmaterial (alle Schiffe und alle Funkwettertechniker zusammen) die prozentualen Häufigkeiten der Windgeschwindigkeiten v (kn), die bei den Beaufortgraden 0, 1, 2 und 3 bei verschiedenem ΔT gemessen wurden. Wenn Windstärke 0 geschätzt wurde, traten am Mast in 21 m Höhe bei $\Delta T > 0^\circ$ häufiger verhältnismäßig kräftige Luftbewegungen auf als bei $\Delta T < 0^\circ$. Der Prozentsatz für $v = 0$ kn ist am größten für $\Delta T < - 2,5^\circ$. Dies Resultat entspricht den Untersuchungsergebnissen von H.U.Roll (1951), der fand, daß die Windstärke umso höher geschätzt wird, je größer der negative Betrag von ΔT ist.

In Tab.3 wurden die Häufigkeitsverteilungen für Bft 1-3 in je zwei im Mittel etwa gleich große Abschnitte geteilt. Die Summe zu beiden Seiten der "Grenze" ermöglichen eine bessere Einsicht in eventuelle Verschiebungen der Verteilungen in Abhängigkeit von ΔT . Insgesamt gesehen zeigt sich - allerdings wenig einheitlich - die erwartete Tendenz: Abnahme der Windgeschwindigkeits-Äquivalente mit größer werdender negativer Temperaturdifferenz.

Nur die für je zwei Teilbereiche summierten prozentualen Häufigkeiten enthält für Bft 1 bis 8 die Tab.4. In den untersten Zeilen findet man eine Angabe über die gewählte "Grenze". Um die Übersicht zu erleichtern, wurden die summierten Häufigkeiten unterhalb der "Grenze" auch graphisch dargestellt (Abb.6). Ein Anstieg der Polygonzüge von links nach rechts entspricht einer Höhererschätzung der Windstärke oder entsprechend einem Kleinerwerden der v -Äquivalente. (Die absolute Lage der Züge ist ohne Belang; sie hängt von der Wahl der "Grenze" ab.) Das Bild ist sehr uneinheitlich. Bei Bft 5 ist eher ein Abfall mit stärker negativem ΔT festzustellen; bei Bft 6 und 7 zeigt sich praktisch keine Tendenz. Für alle anderen Bft-Stufen haben die Polygonzüge die Neigung zum Anstieg mit größer werdenden negativem Betrag der ΔT -Werte.

Insgesamt gesehen ist das Ergebnis dieser Betrachtung recht unbefriedigend, wenn man bedenkt, daß für jeden Summenwert mit durchschnittlich etwa 250 eine relativ große Anzahl von Beobachtungen zur Verfügung stand.

6.4 Korrektion der Anemometermessung

6.4.1 Elimination der durch die Bewegungen des Anemometers bedingten Zusatzkomponenten

Auf den deutschen Schiffen werden Schalenkreuz-Anemometer verwendet. Nach den Feststellungen von M.Sanuki und S.Kimura (vgl. Abschn.2.3) erhöht sich die Windgeschwindigkeit v bei $v \leq 10$ kn um etwa 20 - 25%. Zwar handelte es sich bei den Untersuchungen von Sanuki und Kimura um Experimente am Modell; man muß aber wohl annehmen, daß am Schiff zeitweise ähnliche Bedingungen herrschen. Anderer-

seits wird das Schiff bei schwachem Wind nur dann starke Roll- oder Stampfbewegungen ausführen, wenn gleichzeitig Dünung vorhanden ist. Dies ist im nördlichen Nordatlantik oft, in der Nordsee weniger oft der Fall. Es kann nur ganz roh geschätzt werden, daß die drei Schiffe, auf denen unsere Beobachtungen angestellt wurden, in etwa $1/3$ aller Beobachtungsfälle mit leichten Winden Bewegungen stärkeren Ausmaßes ausgesetzt waren. Die zugehörigen Mittelwerte von v sollten daher nach ebenso roher Schätzung um 8% erniedrigt werden.

Bei lebhaften Winden fallen die Bewegungen des Anemometers weniger, bei Sturm praktisch überhaupt nicht ins Gewicht.

Setzt man an, daß bei $v = 0$ bis 10 kn (bei 5 kn) der Wind im Durchschnitt um 8% zu stark gemessen wird, und geht man auf die Prozentsätze zurück, die sich nach einer auf geometrischen Überlegungen im Abschnitt 2.3 angestellten Rechnung für einige Windgeschwindigkeiten ergaben, so könnte man als vorläufigen Behelf die in Abb.7 wiedergegebene Beziehung benutzen. Daraus läßt sich die folgende Tabelle für additive Korrekturen ableiten.

Wahre Windgeschwindigkeit	1-2 kn	3 kn	4-7 kn	8-15 kn
Korrektur (kn)	-0,2	-0,3	-0,4	-0,5
	16-23 kn	24-34 kn	35-49 kn	≥ 50 kn
	-0,4	-0,3	-0,2	-0,1

Es sei betont, daß diese Werte auf einer äußerst unsicheren Annahme beruhen, daß gegenwärtig aber offenbar bessere Ansätze nicht zur Verfügung stehen.

6.4.2 Korrektur im Hinblick auf die Wirkung der Böigkeit auf die Anemometermessung

Nach den Untersuchungen von E.L.Deacon (1951) bewirkt die Böigkeit des Windes, daß vom Anemometer ein zu hoher Geschwindigkeitswert angezeigt wird. Bei $v = 4$ kn ergab sich ein Fehler von etwa + 10%, bei $v = 12$ kn ein solcher von + 2,5%. Die Gerätekonstanten für die bei den Bordwetterwarten benutzten Anemometer sind nicht bekannt. Vermutlich tritt Böigkeit des von Deacon angesetzten Ausmaßes auf See in $1/3$ bis $1/2$ aller Beobachtungsfälle auf. Als Verbesserungsgröße sollte man daher für $v = 4$ kn nicht mehr als 4%, für $v = 12$ kn etwa 1% ansetzen.

Als vorläufiger Behelf ergeben sich folgende ungefähre additive Korrekturen:

Wahre Windgeschwindigkeit (kn)	1-2 kn	3-9 kn	10-20 kn	≥ 20 kn
Korrektur (kn)	-0,1	-0,2	-0,1	-

6.4.3 Reduktion der Äquivalentwerte auf 10 m Höhe

Die Windgeschwindigkeit wurde auf den drei Schiffen in etwa 21,5 m Höhe gemessen, auf "Meerkatze" früher jedoch in 19,5 m Höhe. Als mittlere Höhe des Anemometers über der Wasserlinie kann man daher 21 m ansetzen.

W.J.Pierson jr. (1964) hat nach den von verschiedenen Autoren gegebenen Unterlagen additive Korrektionsgrößen für die Reduktion der Windgeschwindigkeit auf 10 m Höhe veröffentlicht. Folgt man einer mittleren Funktion, die sehr nahe der auf Charnock-Ellisons Angaben beruhenden Beziehung liegt, so erhält man für die Korrektur auf 10 m Höhe für die verschiedenen Windgeschwindigkeiten in 21 m Höhe folgende additive Glieder (auf zehntel Knoten abgerundet):

Windgeschwindigkeit in 21 m Höhe (kn)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Korrektur(kn)	-0.1	-0.1	-0.1	-0.2	-0.2	-0.2	-0.3	-0.3	-0.4	-0.4
	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	-0.4	-0.5	-0.5	-0.5	-0.6	-0.6	-0.6	-0.7	-0.7	-0.7
	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
	-0.8	-0.8	-0.9	-0.9	-0.9	-1.0	-1.0	-1.1	-1.1	-1.1
	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
	-1.2	-1.2	-1.3	-1.3	-1.4	-1.4	-1.5	-1.5	-1.6	-1.6
	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
	-1.7	-1.7	-1.8	-1.8	-1.9	-2.0	-2.0	-2.1	-2.1	-2.2
	51	52	53	54						
	-2.3	-2.3	-2.4	-2.4						

Von diesen drei Korrekturen müßten zuerst die wegen der Böigkeit des Windes und wegen der Schwankungen des Anemometers am Mast, erst dann die zur Reduktion auf 10 m Höhe an die v-Werte angebracht werden.

Im vorliegenden Falle werden wir jedoch zuerst die aus statistischen Gründen notwendigen Verbesserungen anbringen, weil sich sonst die Rechnungen unnötig komplizieren werden. Die durch die unkorrekte Reihenfolge beim Anbringen der Korrekturen bewirkten Unterschiede sind so gering, daß diese Maßnahme verantwortet werden kann.

6.5 Korrigierte Mittelwerte der Äquivalent-Windgeschwindigkeiten für die Beaufortstufen 0 bis 11-12

Wie bereits erwähnt, wurden die 16357 Beobachtungen der 11 Tagebuchgruppen nach (geschätzten) Beaufortgraden geordnet. Wir betrachten nunmehr das Gesamtkollektiv ohne Trennung nach Schiff-

fen oder Funkwettertechniker. Für jede Beaufortstufe ergibt sich eine Häufigkeitsverteilung S_j der gemessenen Windgeschwindigkeiten in kn. Um die Rechnung nicht unnötig zeitraubend zu machen, wurde für jede dieser Verteilungen zunächst der arithmetische Mittelwert M_V^* unter Berücksichtigung der klimatisch bedingten Wind-Grundhäufigkeit berechnet. Anschließend werden die Korrektionsgrößen - wie beschrieben - wegen der Meßabweichung angebracht. Schließlich wird auf 10 m Höhe über der Wasserlinie reduziert.

Aus der Aufstellung Tab.5 sind der Gang der Korrektionsrechnung und die Ergebnisse zu ersehen.

Die Zahl der Beobachtungen und somit die Grundhäufigkeit sind erwartungsgemäß bei den mittleren Windstärken am größten. Die unterste Zeile der Tabelle enthält die Differenzen zwischen den Größen M_V für die ganzen Beaufortgrade. Bis zu Windstärke 9 ergibt sich eine einigermaßen gleichmäßige Zunahme der Äquivalente mit steigenden Beaufortstufen. Ab 9 Bft wird die Zuwachsrate deutlich kleiner; dies ist wahrscheinlich eine Folge der Schwierigkeiten bei der Schätzung sehr hoher Windstärken und ist möglicherweise hervorgerufen durch Unzulänglichkeiten der Petersen-Skala in diesem Bereich. Der Äquivalentwert für Bft 10-11 fällt nach unten, d.h. in Richtung kleiner v , heraus. Dagegen errechnet sich für Bft 10 eine zu hohe äquivalente Geschwindigkeit. Diese Unregelmäßigkeiten gehen nicht auf Rechenfehler zurück, sondern liegen im Beobachtungsmaterial selbst.

Zeichnet man die korrigierten M_V -Werte gegen die linear aufgetragenen Beaufortgrade auf (Abb.8), so deutet sich zwischen 0 und 8 Beaufort eine annähernd parabelförmige Beziehung an. Bei größeren Windstärken schlägt die Krümmung jedoch um.

Zu Vergleichszwecken enthält die Abb.8 auch die M_V^* -Werte, also die nicht-korrigierten Äquivalent-Geschwindigkeiten. Außerdem sind die von CMM-IV im Dezember 1964 vorgeschlagene Skala ("Mittelwerte" der Beaufortgrade) und die Äquivalent-Skala von 1946 (sog. Internationale Skala) eingetragen.

Da nach W.Köppen der Einfluß der statistischen Ordnung (nach Beaufortstufen bzw. nach kleinen Klassen der Windgeschwindigkeit) bei schwachen Winden und bei den Sturmstärken besonders deutlich in Erscheinung tritt, wurden diese Teile unserer Gegenüberstellung noch einer genaueren Betrachtung unterzogen.

Das genannte Material, die Beobachtungen der 11 Tagebuchgruppen, wurde für die gemessenen Windgeschwindigkeiten $v = 0$ bis $v = 10$ kn so geordnet, daß die Größe v Argument und die geschätzten Beaufortwerte Variable waren. Bei der Berechnung der mittleren Beaufortstärke pro v -Wert wurden die Gesamt-Häufigkeiten von Schätzungen für jede Beaufortstufe als "Grund-Häufigkeit" berücksichtigt. Übergangsbeobachtungen wie 1-2; 2-3; usw. zählten als 1,5; 2,5; usw. Der übrige

Gang der Rechnung ist der Tab.6 zu entnehmen.

Vergleicht man die so erhaltenen Beaufort-Äquivalente M_B mit den Windgeschwindigkeits-Äquivalenten M_V aus Tab.5 (vgl.Abb.9), so zeigt sich, daß die Unterschiede verhältnismäßig gering sind. Die nach Berücksichtigung der Grundhäufigkeit noch vorhandenen Differenzen dürften hauptsächlich auf die Schiefe und die unterschiedliche Breite der beteiligten Einzelverteilungen der Variablen zurückzuführen sein. Wir kommen weiter unten noch auf diese Frage zu sprechen. Zum Vergleich enthält Abb.9 auch die von CMM-IV vorgeschlagenen Äquivalentwerte für Bft 1 und 2.

Bei hohen Windgeschwindigkeiten zeigen die Äquivalente M_V in Tab.5 teilweise einen recht unregelmäßigen Verlauf. Es erschien daher notwendig, zur Festlegung der Werte in diesem Bereich das gesamte greifbare Beobachtungsmaterial heranzuziehen.

Für die Auszählung wurden zunächst als Argument die Windgeschwindigkeit, als abhängige Variable die zugehörige Beaufortschätzung gewählt.

Für alle Schiffe und alle Funkwettertechniker zusammen und bei Nicht-Berücksichtigung des Temperaturunterschiedes Luft/Wasser ergeben sich ab $v = 37$ kn die in Tab.7 wiedergegebenen (absoluten) Häufigkeiten.

Außerdem enthält das Material noch folgende Beobachtungen:

	v	62	64	68	76	78
Bft	12	2	2	4	1	1

Der Gang der Rechnung ist aus der Tab.8 ersichtlich.

In Zeile 5 erscheinen die korrigierten Werte der Windgeschwindigkeit v in kn. Die unterste Zeile der Tabelle gibt die für die Größen von v unter Berücksichtigung der Grundhäufigkeit berechneten Mittelwerte der gleichzeitig beobachteten Beaufortgrade an. Das gewünschte Endergebnis erhält man also durch Vergleich der Zeilen 5 und 8. Die Bft-Werte (M_B) sind recht unregelmäßig (vgl. auch Abb.6). In diesem Falle dürfte eine Glättung berechtigt sein; sie wurde durch 5wertig übergreifende Mittelbildung vorgenommen.

Die Beziehung zwischen den korrigierten Windgeschwindigkeiten v (Zeile 5 der Tab.8) und den M_B -Werten der Zeile 8 sind in Abb.10 wiedergegeben. Die Anzahlen der für jedes v zur Verfügung stehenden Beobachtungen ist beigelegt.

Durch die gleichfalls eingezeichneten geglätteten Bft-Äquivalentgrößen wurde eine "Kurve" zu legen versucht, die im Gegensatz zum Verlauf der M_V -Werte in Abb.8 noch bei Windstärke 10 leicht konvex nach unten gekrümmt ist. In Abb.10 sind für Vergleichszwecke auch die M_V

eingesetzt worden. Sie weichen zum überwiegenden Teil beträchtlich von den Größen M_B ab. Allerdings werden die Unterschiede bei ≤ 8 Bft und oberhalb 10-11 Bft relativ klein.

An der Kurve für die geglätteten M_B lassen sich die Mittelwerte der Äquivalent-Windgeschwindigkeiten für die Beaufortgrade ablesen. Als korrigierte Äquivalente erhält man dann:

Bft	8	9	10	11
	34,6	40,0	46,0	52,4 kn

Um den Ursachen für die Abweichungen auf die Spur zu kommen, ist das volle Material auch nach Beaufortschätzungen geordnet worden. Für Bft 8, 9, 10 und 11 haben wir die Äquivalente unter Berücksichtigung der Grundhäufigkeit berechnet. Es ergaben sich:

	Bft	8	9	10	11
M_V^* (unkorrigiert)		36,3	43,9	50,5	55,8 kn
Korrekturen		- 1,6	- 2,0	- 2,4	- 2,6 kn
M_V		34,7	41,9	48,1	53,2 kn

Diese Äquivalent-Windgeschwindigkeiten wurden gleichfalls in Abb. 10 aufgenommen. Sie sind sämtlich etwas kleiner als die M_V -Werte, die aus dem geringeren Beobachtungsmaterial gewonnen wurden. Von den M_B -Werten aus dem vollen Material weichen jedoch auch sie recht beträchtlich ab.

Nachdem sich der Einfluß des unterschiedlichen Datenumfanges als gering erwiesen hat, kommen für diese Abweichungen folgende Ursachen in Betracht:

- 1) Auswirkung der unterschiedlichen statistischen Ordnung im Zusammenhang mit den Überlappungen der z.T. unsymmetrischen und verschieden breiten Verteilungen der Variablen.
- 2) Gerade Zahlen von v wurden bevorzugt notiert.
- 3) Bei den Rechnungen der Beaufort-Durchschnitte wurden die Übergangs-Beaufortgrade der Einfachheit halber auf die Hälfte des Intervalls zwischen den angrenzenden vollen Beaufortstufen gelegt, also z.B. für 8-9 Bft: 8,5 Bft.

Da eine ins einzelne gehende Untersuchung über den Ursprung der Abweichungen sehr aufwendig sein würde, haben wir hier darauf verzichtet. In Anbetracht der geringen Genauigkeit von Schätzung, Anemometerablesung und Korrekturen sollte man sich schließlich mit einem mittleren Wert zwischen den Größen M_V und M_B begnügen.

Eine zahlenmäßige Gegenüberstellung unserer verschiedenen Äquivalentwerte folgt in Abschnitt 9.

7. Vergleich zwischen Beobachtungen der Bordwetterwarten und Schätzungen in der Nähe befindlicher Fischdampfer

Die deutschen Fischereischutzboote und Fischereiforschungsschiffe sind in der Regel auf Fangplätzen der Hochseefischerei tätig. Sie treffen dort Fischdampfer an und begegnen ihnen auf An- und Rückfahrt. Auf vielen Fischdampfern werden Wetterbeobachtungen durchgeführt. Die Windstärke wird nach der Petersen-Skala geschätzt.

Es liegt nahe, solche Windschätzungen mit den Aufzeichnungen der Bordwetterwarten zu vergleichen.

Die Beobachtungen der deutschen Schiffe liegen - nach 10-Grad-Feldern geordnet - im Archiv des Seewetteramts auf Lochkarten vor. Für Tage, an denen FSB "Meerkatze", FSB "Poseidon" oder FFS "Anton Dohrn" in einem der 10-Grad-Felder 60° bis 70° N, 10° bis 20° W oder 60° bis 70° N, 20° bis 30° W standen, wurden die Beobachtungszeit, die Positionen, die Windgrößen und $T_L - T_W$ tabelliert. Unter Eingehen in die Beobachtungstagebücher der Bordwetterwarten konnten jetzt die in der Nähe befindlichen Schiffe herausgesucht und die Beobachtungen verglichen werden. Dies geschah einzeln, d.h., es wurde immer nur mit einem Nachbarschiff verglichen.

Die Bedingungen, unter denen eine Fischdampfer-Beobachtung für den Vergleich berücksichtigt werden durfte, waren folgendermaßen festgelegt:

Die beiden Beobachtungen mußten zur gleichen Stunde oder in einem zeitlichen Abstand von höchstens 1 Stunde angestellt sein.

In keinem Fall durfte die Entfernung zwischen den beiden Schiffen mehr als 50 sm betragen. Betrug der Abstand eines der beteiligten Schiffe von Land 30 sm oder weniger, so waren folgende Fälle noch zugelassen:

<u>Entfernung von Land</u>	<u>Abstand zwischen den beiden Schiffen</u>
25 sm	10 sm
20	7
10	5
5	1

Aus diesem Schema waren Zwischenwerte durch Interpolation abzuleiten.

Insgesamt wurden 1.652 Fälle ausgewertet. Hiervon fielen 429 in das 10-Grad-Feld 60° - 70° N, 10° - 20° W, 1.223 in das Großquadrat 60° - 70° N, 20° - 30° W. Für das zuletzt genannte Feld wurde noch ausgezählt, daß die beiden Schiffe in 953 Fällen 0 - 30 sm, bei den übrigen 270 Vergleichen 31 - 50 sm voneinander entfernt waren. Leider liegen für hohe Windstärken nur sehr wenige Fälle vor.

Wir haben die Beobachtungen nach den Beaufort-Schätzwerten der Fischdämpfer geordnet und unter Berücksichtigung der Grundhäufigkeit die Mittelwerte der von den Bordwetterwarten gemessenen Windgeschwindigkeiten für die einzelnen Beaufortgrade berechnet. Die Streuung ist außerordentlich groß. Für das Großquadrat 60° - 70° N, 20° - 30° W wurden z.B. für die geschätzte Windstärke 3 Meßwerte der Bordwetterwarten zwischen 0 und 30 kn gefunden. Die Größe der Streuung geht teils auf gewisse örtliche Unterschiede, die sich besonders bei schwachen Winden bemerkbar machen dürften, und auf die oben diskutierten Schätzfehler zurück.

Das Ergebnis der Rechnungen enthält Tabelle 9. Hier sind auch die Korrekturen der Wind-Meßwerte vorgenommen. M_v ist der korrigierte Äquivalentwert.

Auffällig ist zunächst der hohe Wert für Bft 1 im Feld 60° - 70° N, 10° - 20° W, wie überhaupt die hohen Äquivalente bei schwachem Wind. Wahrscheinlich liegen wenigstens teilweise grobe Unterschätzungen nach Bft vor; teilweise bewirkt die durch die Ortsunterschiede bedingte Streuung einseitig eine Vergrößerung der Mittelwerte, weil negative Bft- bzw. v-Werte nicht existieren. Außerdem ist z.T. vermutlich Windstärke 1 notiert worden, solange das Schiff ruhig lag. So erklärt sich auch der Abfall von M_v für Bft 1 auf Bft 2. Vergleicht man die Resultate für die beiden Großquadrate miteinander, so zeigen sich deutliche Unterschiede, deren Ursprung leider nicht restlos aufgeklärt werden konnte. Statistische Zufallsschwankungen haben bei der teilweise geringen Zahl der Beobachtungen für die einzelnen Beaufortgrade insbesondere beim Feld 60° - 70° N, 10° - 20° W hierbei sicher einen entscheidenden Einfluß. Andererseits sind die Differenzen größtenteils kleiner als z.B. die Unterschiede zwischen der Internationalen Skala von 1946 und der Skala CMM-IV für schwache Winde und Stürme (vgl. Abb. 11).

Für das Großquadrat 60° - 70° N, 20° - 30° W sind die Äquivalente auch gesondert für solche Fälle berechnet worden, in den die beiden Schiffe ≤ 30 sm voneinander entfernt waren. Die unkorrigierten Mittelwerte sind hier einander gegenübergestellt:

	0	1	2	3	4	5	6	7	Bft
0-50 sm	2.51	5.68	9.41	15.16	20.42	22.99	27.19	32.11	kn
0-30 sm	2.48	5.47	9.47	15.65	21.08	22.84	27.24	33.24	kn

Die Unterschiede sind wenig bedeutend, besonders, wenn in Betracht gezogen wird, daß für den Abstandsbereich 0-30 sm für Bft 7 nur 7 Fälle zur Verfügung stehen. Man darf daraus schließen, daß der örtliche Unterschied zwischen Schätzung und Messung nicht zu schwer ins Gewicht fällt.

Der Vergleich mit vorher gebrachten Aufstellungen und mit der großen Tabelle 12 zeigt, daß die Äquivalente für schwache und mäßige

Winde bedeutend höher liegen als bei den Schätzungen der Funkwettertechniker und bei den meisten anderen Äquivalent-Skalen. Ähnliche Größen wie wir hat W. Shinners 1963 erhalten, der Windmessungen des Wetterschiffs "D" und Schätzungen vorüberfahrender Schiffe einander gegenüberstellte. Shinners ermittelte für Sturmstärken sehr viel kleinere Äquivalente als sonst im allgemeinen festgestellt wurde. Gewisse Andeutungen hierfür zeigen sich auch in unseren Rechenergebnissen: Der M_V -Wert für Bft 8 im Quadrat 60° - 70° N, 10° - 20° W ist im Gegensatz zu allen Beaufortstärken ≤ 7 nicht mehr größer als der entsprechende Äquivalentwert der Internationalen Skala von 1946. Allerdings ist nach Abb.11, in der versucht wurde, unsere Ergebnisse über Bft 8 hinaus zu extrapolieren, nicht anzunehmen, daß die Fischdampfer-Schätzungen bei Sturm so niedrige Äquivalente liefern wie die Handelsschiffs-Aufzeichnungen von Shinners. Darauf deuten auch unsere wenigen Vergleichsbeobachtungen für Sturmstärken, die in die Aufstellung wegen der geringen Zahl der Daten aufgenommen wurden.

8. Gegenüberstellung der Schätzung von Nautikern und meteorologischem Fachpersonal auf den Bordwetterwarten

Seit Januar 1965 werden auf Schiffen mit Bordwetterwarten auch die Wind-Schätzungen der wachhabenden Offiziere zum Beobachtungstermin eingeholt und notiert. An dieser Aktion ist außer den bereits genannten Schiffen auch die Bordwetterwarte auf dem Fische-reiforschungsschiff "Walther Herwig" beteiligt. Die Nautiker konnten weder die Anemometer-Anzeige noch die Schätzung des meteorologischen Fachpersonals; es ist aber zu bedenken, daß sie vorher im Laufe der Zeit durch viele Vergleiche mit Beobachtungen der Bordwetterwarte "geschult" waren.

In Tabelle 10 werden die Häufigkeiten der Kombinationen von gleichzeitigen Schätzungen und Messungen für 10 Reisen von Januar bis Juni 1965, insgesamt 1336 Beobachtungen gebracht. Die Meßwerte des Anemometers sind nicht korrigiert und somit nicht auf 10 m Höhe reduziert.

Man erkennt die Tendenz zu hohen Äquivalentgeschwindigkeiten bei leichtem bis mäßigem Wind, die auf eine Unterschätzung der Windstärke zurückgeführt werden könnte. Bei den verhältnismäßig wenigen Sturmbeobachtungen liegen die Äquivalente zum großen Teil recht niedrig, so daß eine häufige Überschätzung der Windstärke durch den Nautiker angenommen werden muß.

Außerdem haben wir die Schätzungen der Nautiker und die der Funkwettertechniker einander gegenübergestellt.

Ausgezählt wurden die Differenzen der nahezu gleichzeitigen und voneinander unabhängigen 1512 Schätzungen, geordnet nach den von den Funkwettertechnikern notierten Beaufortgraden (Tab.11.).

Bei etwa 47% aller Beobachtungen stimmen die Schätzungen überein (Differenz = 0). Im übrigen schätzte der Nautiker - wie auch die Summen rechts in der Tabelle ausweisen - im Durchschnitt etwas niedriger als der Wetterdienst-Angehörige. In 16% der Fälle notierte er eine um 1 Bft geringere Windstärke.

Daß bei 0 Bft des Funkwettertechnikers nur positive Differenzen auftreten, geht auf den Umstand zurück, daß das Material nach Schätzungen des meteorologischen Fachpersonals geordnet wurde. Negative Differenzen sind in diesem Fall nicht möglich. Auch Bft 1 und 2 sind von dieser weiter oben bereits angesprochenen statistisch bedingten Erscheinung noch beeinflusst, weil die "Chancen" für negative Differenzen von vornherein kleiner sind als für positive. Wären die Vergleichsschätzungen nach den Aufzeichnungen der Nautiker geordnet worden, so wäre das Phänomen in umgekehrtem Sinne aufgetreten. - Ab Windstärke 3 zeigt sich in Tab.11 aber das Überwiegen negativer Differenzen. Der Unterschied wird bei Sturm allerdings wieder geringer.

Es erhebt sich die Frage, welche Gruppe der Schätzenden - Nautiker oder Funkwettertechniker - die Vorschriften der Petersen-Skala genauer zur Anwendung gebracht hat. Jedenfalls deutet sich in Tabelle 11 eine Diskrepanz an, die mit großer Wahrscheinlichkeit auf systematische Fehler zurückgeht.

9. Bisherige Äquivalent-Skalen und Vergleich mit den Ergebnissen der vorliegenden Untersuchung

Die Ergebnisse von Untersuchungen zur Feststellung der Beaufort-Äquivalente sind schon verschiedentlich einander gegenübergestellt worden, z.B. von G.Verploegh 1954 und 1956 sowie von J.Richter 1956/57. Inzwischen sind weitere Reihen gleichzeitiger Schätzung und Messung auf See bearbeitet und bekanntgegeben worden. Sie sind zusammen mit Resultaten der früheren Arbeiten in Tabelle 12 aufgeführt. Man findet dort die "Mittelwerte" der auf die verschiedenen Beaufortstufen entfallenden Windgeschwindigkeiten in m/sec.

Die Tabelle enthält außerdem Angaben über die Beobachtungsstelle, das Gebiet und die Zeit der Beobachtung, das Jahr der Veröffentlichung, die Höhe des Windmessers über der (mittleren) Wasseroberfläche, den Typ des Windmessers, die Gesamtzahl der Beobachtungen, die Größe evtl. Korrekturen und über Einzelheiten bei der statischen Auswertung, soweit bekannt.

Im unteren Teil der Aufstellung sind die verschiedenen Äquivalent-Skalen einander gegenübergestellt, die von einzelnen Ländern oder international benutzt wurden bzw. noch gebraucht werden, und auch solche, die zur Einführung vorgeschlagen worden sind.

Ein Teil der wissenschaftlichen Vergleichsuntersuchungen und der Skalen wurden bereits an anderer Stelle der vorliegenden

Arbeit erwähnt, für die übrigen dürften die in der Tabelle beigelegten Angaben zur ersten Orientierung des Lesers ausreichen. Sie sind außerdem im Literaturverzeichnis am Schluß aufgeführt.

Beim Vergleich der Untersuchungsergebnisse ist natürlich darauf zu achten, ob und welche Korrekturen oder Reduktionen angebracht und welche statistischen Berechnungsmethoden verwendet wurden. Leider kann nicht in allen Fällen angegeben werden, ob das Material für die Bildung von Mittelwerten nach Beaufortgraden oder nach Klassen der gemessenen Windgeschwindigkeit geordnet wurde. Schließlich spielen der Typ des Windmessers und sogar das Beobachtungsgebiet eine Rolle. Von herausragender Bedeutung ist auch die Frage, von wem die Windschätzungen angestellt worden sind und inwieweit sich der Beobachter genau an die Vorschriften (z.B. Petersen-Skala) gehalten hat.

Wenden wir uns jetzt den Zahlen der Tabelle 12 genauer zu! Erwartungsgemäß sind die Unterschiede am krassesten bei den kleinen und den großen Windstärken. Aber selbst bei 6 Bft, einer häufig vorkommenden Windstufe, schwankt der Äquivalent-Mittelwert zwischen 11,0 und 14,4 m/sec oder um 31%.

Die Ursache für das Herausfallen dieser beiden Werte ist in diesem Falle leicht zu finden. Auf "Gazelle" (11,0 m/sec) sind die Windgeschwindigkeiten mit dem Handanemometer bestimmt worden. Sie liegen daher mit Sicherheit zu niedrig. Der (bereits teilkorrigierte) hohe Wert von 14,4 m/sec wurde dagegen in einer Höhe von 32 m über der Wasserlinie gemessen; für die Reduktion auf 10 m Höhe wäre eine stärkere Korrektur als - 1,0 m/sec anzubringen.

Auffällig niedrige Äquivalentgrößen hat J. Richter 1956/57 aus den Feuerschiffsbeobachtungen für die Windstärken ≥ 7 Bft erhalten. Hierbei spielen vermutlich die Nähe der Küste und u.a. die Nicht-Berücksichtigung der Grundhäufigkeit des Windes bei der Auswertung eine Rolle. Niedrige Windgeschwindigkeiten sind auch von den holländischen Feuerschiffen (G. Verploegh, 1954) zu erwarten gewesen, weil das Anemometer in nur 7 m Höhe über der Wasserlinie angebracht war.

Von manchen deutschen Fischdampfern wurde Windstärke "1" anscheinend viel zu oft notiert. So ergeben sich die unrealistisch hohen Äquivalent-Mittelwerte, die sicher im Gegensatz zur Petersen-Skala stehen. In der Zusammenstellung von W. Shinnars 1963 machen sich bei hohen Windstärken vermutlich Schätzfehler bemerkbar, die vielleicht im Zusammenhang damit stehen, daß es beim Wetterschiff "D" auf 44° N 41° W zeitweise relativ ruhig ist, so daß Starkwind schnell überschätzt wird.

Durch Anbringen bestimmter Korrekturen besonders bei älteren Meßreihen würde sich eine bessere Annäherung auf die - bisher unbekannt - wahren Äquivalente erreichen lassen. Bestimmte Fehler, z.B. die Schätzunterschiede, sind aber nicht nachträglich auszugleichen. Vielleicht könnten in der Zukunft bessere Resultate erzielt werden, wenn eine noch

eingehendere Beschreibung des Seezustandes bei den einzelnen Windstärken eingeführt werden könnte und wenn die Beobachter angehalten würden, die Instruktionen für die Schätzung genau zu beachten.

Besonders erstaunlich sind die Unterschiede bei den für die Umrechnung gedachten Äquivalent-Skalen (unterer Teil von Tab. 12). Wie war es möglich, daß man z.B. den äquivalenten Mittelwert für die Windstärke 10 nach einem internationalen Beschluß von 23,3 auf 26,6 m/sec erhöhte? Das bedeutet eine Änderung um mehr als 13 %. Ähnlich einschneidend ist die von CMM-IV vorgeschlagene Erhöhung der Äquivalente bei schwachen Winden gegenüber der Skala von 1946. Bei Bft 1 liegt der neue Wert $2 \frac{1}{2}$ mal so hoch wie früher.

Die starken Änderungen spiegeln die Unsicherheit der bisherigen Kenntnisse über die Wind-Äquivalente besonders im Sturmbereich und bei schwachen Winden wieder.

10. Ist es zweckmäßig, die internationale Skala der Beaufort-Äquivalente zu ändern?

Nach Anbringen der notwendigen Korrekturen und bei Reduktion der Meßwerte auf 10 m Höhe liegen die Beobachtungen der Bordwetterwarten bei der Mehrzahl der Beaufortgrade zwischen der Internationalen Skala von 1946 und den Vorschlägen von CMM-II und CMM-IV.

Welche von den verschiedenen Skalen die tatsächlichen Beziehungen zwischen Beaufortstufen und Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe am besten trifft, kann aber nicht entschieden werden.

Aus der Sicht des Wissenschaftlers und für manche praktische Aufgaben, z.B. für die Berechnung des Seegangs aus den Windverhältnissen wäre es dringend zu wünschen, daß die jeweils als am besten zutreffend erkannten Beaufort-Äquivalente international auch in den Wetter-Meldeschlüssel eingeführt würde. Man wäre gewiß bereit, die noch vorhandenen relativ kleinen Unsicherheiten und Ungenauigkeiten in Kauf zu nehmen, um mit einigermaßen "richtigen" Äquivalenten arbeiten zu können.

Dieser Vorteil bzw. Fortschritt würde jedoch recht teuer erkaufte werden.

Mit der Einführung einer neuen Umrechnungsskala wären den Windschätzungen nach Beaufort/Petersen jedesmal neue Äquivalente zuzuordnen. Die Sammelstellen für Wetterbeobachtungen hätten von diesem Zeitpunkt an Maßnahmen zu treffen, um die neuen Beobachtungen von den früheren sicher zu trennen und für die Berechnung von statistischen Größen die älteren Lochkarten zu ändern bzw. neue Karten zu fertigen. Der Aufwand wäre sehr beträchtlich.

Die Beobachter auf den Schiffen würden bei einer Schlüsseländerung aufs höchste erstaunt sein, daß z.B. Bft 10 nicht mehr 52 kn, sondern neuerdings nur noch 47 kn entspricht. Sie könnten es mit Recht verwunderlich finden, daß sie auf der einen Seite zur größtmöglichen Genauigkeit bei ihren Beobachtungen angehalten werden, aber anderer-

seits die Äquivalente um 10 % geändert werden können. Ihr Vertrauen in die Anweisungen der meteorologischen Dienste könnte erschüttert werden, und das Ansehen der Wetterdienste würde sinken.

Hinzu kommt, daß man die Unsicherheit hinsichtlich älterer Schätzungen, beispielsweise vor Einführung der Petersen-Skala, mit neuen Äquivalenten nicht beseitigen könnte. Es besteht sogar die Gefahr, daß die Verwirrung noch größer wird.

Zudem dürfte sicher sein, daß Seeleute anders schätzen als speziell geschultes meteorologisches Fachpersonal. Möglicherweise hat sich die Schätzungsgewohnheit der Nautiker im Laufe der Jahrzehnte geändert. Außerdem besteht der Verdacht, daß nationale Unterschiede bestehen. Es ist daher äußerst fraglich, ob man in nächster Zeit eine allgemein gültige internationale Äquivalent-Skala für Schätzungen auf See finden kann.

Mit der Festlegung analytischer Funktionen kommt man nach Auffassung des Berichterstatters nicht weiter, wie in Abschn. 3.1 begründet wurde. Tatsächlich zeigen die Beziehungen zwischen Beaufortstufung und Windgeschwindigkeit Unregelmäßigkeiten (vgl. z.B. Abb. 11), die nicht durch einen relativ einfachen mathematischen Ausdruck erfaßt werden könnten. Wollte man z.B. eine Parabel verwenden, so müßte man die Schätzvorschriften, z.B. die Petersen-Skala, bzw. die Schätzmerkmale ändern. Dies dürfte jedoch nicht möglich sein.

Es erscheint andererseits nicht ausgeschlossen, daß z.B. in einigen Jahren genauere und verlässlichere Unterlagen für die Berechnung der wahren Beaufort-Äquivalente aus guten Schätzungen zur Verfügung stehen werden, wobei man sich allerdings im klaren darüber sein muß, daß man vorläufig stets nur mittlere Werte der Umrechnungsgrößen zum Ansatz bringen kann, weil die Beziehung zwischen Beaufort-Schätzwert und Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe z.B. auch von der vertikalen Temperaturschichtung abhängig ist. Sehr wahrscheinlich werden die Unterlagen für die Umrechnung von guten Schätzwerten in Windgeschwindigkeiten aber auch dann noch weiter verbessert und auch immer genauer werden, so daß dann wieder der Wunsch nach einer Änderung der Äquivalent-Skala aufkommen wird. - Inwieweit man die Schätzwerte verbessern kann, steht auf einem anderen Blatt.

Aus den genannten Gründen sollte nach Auffassung des Verfassers eine Kompromiß-Lösung etwa der folgenden Form erwogen werden:

- 1) International werden von Zeit zu Zeit bestimmte Beaufort-Äquivalente als die nach jeweils vorhandenen Kenntnissen "am meisten zutreffenden" festgesetzt und bekanntgegeben. Es wird gleichzeitig empfohlen, diese Skala bei wissenschaftlichen Ausarbeitungen und für praktische Arbeiten, bei denen ihre Berücksichtigung nicht umgangen werden kann, anzuwenden.

- 2) In Anbetracht des Aufwandes bei einer offiziellen internationalen Änderung der Äquivalente und des Umstandes, daß von Zeit zu Zeit möglicherweise wieder eine "bessere" Umrechnungsskala gefunden bzw. gefordert wird, behält die gegenwärtige Skala für die Meldung und Sammlung der Beobachtungen ihre Gültigkeit.

Der Beobachter wird somit nicht mit einer Umstellung konfrontiert. Die meteorologischen Dienste und Wissenschaftler könnten Maßnahmen zur Umrechnung der Schätzwerte für ihre Zwecke treffen. Eine neue Verwirrung wäre vermieden.

11. Schlußbemerkung und Ausblick

Der Bestimmung der Windgeschwindigkeits-Äquivalente für die Beaufortgrade auf See stehen große Schwierigkeiten grundsätzlicher Natur entgegen, weil

- 1) zur Zeit keine Möglichkeiten für eine genaue Messung des Windes auf Schiffen bestehen,
- 2) die Äquivalente von der vertikalen Windschichtung und somit von der Turbulenz abhängig sind und
- 3) die Windschätzung bei bestimmten Lagen, z.B. bei abflauenden Winden, nicht genau sein kann und auch sonst teilweise offensichtlich nicht mit der notwendigen Sorgfalt vorgenommen wird.

Was die Messung der Windgeschwindigkeit anbelangt, so müßten die an Bord eingesetzten Instrumente darauf untersucht werden, in welcher Weise sie auf die Böigkeit ansprechen. Die japanischen Forschungsarbeiten über den Einfluß der Bewegungen und der zeitweiligen Schräglage des Anemometers am Mast sollten auf See fortgesetzt werden. Dies ließe sich vermutlich dadurch bewerkstelligen, daß man einen durch Stabilisierung vertikal gehaltenen Mast (K. Brocks) in der Nähe eines mit Meßgeräten versehenen Schiffes einsetzt. An diesem Mast ließen sich gleichzeitig die vertikalen Profile von Wind und Temperatur bestimmen, so daß zusätzlich weitere Unterlagen für die Reduktion der Windgeschwindigkeit auf ein einheitliches Niveau gewonnen werden könnten. Es besteht kein Zweifel darüber, daß diese Arbeiten sehr aufwendig sein würden.

Die Schwankungen des Mastes sind abhängig vom Seegang und von der Lage des Schiffes zur See, von seiner Beladung usw. Zu einer genauen Windmessung müßten später also auch Messungen der Mastbewegung gehören.

Um die Schätzung der Windstärke auf See zu verbessern, sollten nach Möglichkeit Beziehungen zwischen der Windgeschwindigkeit im Bezugsniveau, dem vertikalen Windprofil bzw. dem Turbulenzcharakter des Luftkörpers und den Schätzkennzeichen der Meeresoberfläche ermittelt werden. Auch andere Faktoren von Einfluß wie Meeresströmung und Wassertiefe müßten Berücksichtigung finden. Die Beobachter auf See sollten Unterlagen in die Hand bekommen, die ihnen die Schätzung so leicht wie möglich machen. Man müßte auch dafür sorgen, daß sie in die mit der Windschätzung zusammenhängenden Probleme besser eingeführt werden als bisher. Vermutlich würden ihr Interesse geweckt oder verstärkt und Unachtsamkeit vermieden werden.

Die Schätzung nach halben Beaufortgraden sollte bis Bft 9 in den meisten Fällen - zumindest auf freier See ohne stärkere Meeresströmung - möglich sein. Verschiedentlich, z.B. von R. Scherhag (1937), wurde vorgeschlagen, die Windstärke nicht mehr nach der Beaufort-Einteilung, sondern unmittelbar in Einheiten der Windgeschwindigkeit zu schätzen. Dies würde eine gewaltige Umstellung bedeuten, die nach Auffassung des Berichterstatters nur dann zu vertreten wäre, wenn für diese Einheiten gute und nach Möglichkeit verbesserte Anhaltspunkte für die Windschätzung auf See angegeben werden könnten. Im Grunde muß sich die Schätzung und die Einteilung der Schätz-Intervalle nach den Schätz-Möglichkeiten und somit nach den verfügbaren Kennzeichen für die verschiedenen Intervalle richten. Es wäre deshalb denkbar, nur eine Skala von einwandfreien Schätz-Kennzeichen aufzustellen und erst dann ohne Rücksicht auf eine "Gleichmäßigkeit" der Intervalle die zugehörigen Windgeschwindigkeiten zuzuordnen. Ob diese Methode praktikabel wäre, erscheint fraglich, aber es sollte nicht vergessen werden, daß ein Kardinalpunkt der Windschätzung und somit der Geschwindigkeits-Äquivalente die Schätz-Kennzeichen auf See sind. Solange auf Schiffen die Messung der Windstärke nicht allgemein eingeführt ist, sollte man der Festlegung von charakteristischen Anhaltspunkten für die Schätzung größte Aufmerksamkeit widmen.

Bei der Auswertung des Beobachtungsmaterials wurde der Berichterstatter von verschiedenen Stellen des Seewetteramtes und von einer Reihe von Mitarbeitern unterstützt. Er möchte seinen Dank besonders aussprechen

Fräulein R. Bremer: statistische Arbeiten,
Frau Brockmüller: statistische und Rechenarbeiten,
Herrn R. Hohmann: statistische und Rechenarbeiten,
der Hollerithgruppe unter ihrem Leiter,
Herrn Hermann: Tabellierungen
Herrn Dipl.Met. Kohnke: statistische und Rechenarbeiten
Frau D. Onken: statistische und Schreibaarbeiten
Herrn Reg.Ob.Insp. O. Petri: statistische und Rechenarbeiten.

Zusammenfassung

Zunächst werden die bei der Windstärkemessung auf Schiffen auftretenden Ungenauigkeiten und mögliche Fehler bei der Schätzung der Windstärke nach der Beaufort- bzw. Petersen-Skala eingehend diskutiert und schließlich in einer Übersicht zusammengestellt. Dann werden statistische Fragen angeschnitten, die bei der Auswertung von Vergleichsbeobachtungen und bei der Bestimmung von Äquivalent-Mittelwerten von Bedeutung sind. Insbesondere wird besprochen, in welcher Weise sich die Art, in welcher das Material geordnet wird (nach Beaufort-Schätzungen oder nach Meßwerten der Windgeschwindigkeit), auswirken muß. Der Einfluß der "Grund-Häufigkeit", d.h. der Häufigkeitsverteilung der als Argument benutzten Beobachtungen (z.B. Beaufortschätzungen) auf die zu bestimmenden Mittelwerte der Variablen (z.B. der gleichzeitig gemessenen Windgeschwindigkeiten) wird erörtert.

Für mehr als 16.300 gleichzeitige Messungen der Windgeschwindigkeit und Schätzungen durch meteorologisches Fachpersonal auf drei deutschen Bordwetterwarten werden die Beaufort-Äquivalente unter Berücksichtigung der Grund-Häufigkeit bestimmt. Als Argument dienten die Beaufort-Schätzungen. Korrekturen wegen der Schwankungen des Anemometers am Mast, wegen der Bögigkeit und zur Reduktion auf 10 m Höhe werden angebracht. Für schwache Winde und Sturmstärken werden mit z.T. erweitertem Beobachtungsmaterial Äquivalent-Bestimmungen mit den Meßwerten der Windgeschwindigkeit als Argument vorgenommen.

Des weiteren werden Anemometer-Messungen der Bordwetterwarten und Beaufort-Schätzungen in der Nähe befindlicher Fischdampfer einander gegenübergestellt. Die Äquivalente werden mit den Schätzungen als Argument und unter Berücksichtigung der Grund-Häufigkeit berechnet. Offensichtlich schätzen manche Fischdampfer bei schwachen und mäßigen Winden wesentlich zu niedrig. - Außerdem werden gleichzeitige unabhängige Schätzungen von Seeleuten und von meteorologischem Fachpersonal an Bord zum Vergleich gebracht.

Die Ergebnisse früherer Untersuchungen zur Feststellung der Beaufort-Äquivalente und praktisch benutzte bzw. vorgeschlagene Umrechnungs-Skalen werden einander gegenübergestellt und mit den eigenen Resultaten verglichen. Die Unterschiede werden kritisch beleuchtet. Für die Mehrzahl der Windstärken liegen die Äquivalente nach den Beobachtungen der Bordwetterwarten zwischen der Internationalen Skala von 1946 und der von der Kommission für Maritime Meteorologie 1964 (CMM-IV) vorgeschlagenen Skala.

Der Verfasser spricht sich gegen die häufige Änderung der international für den praktischen Dienst gültigen Äquivalent-Skala aus. Er hält es auch für unmöglich, bzw. sogar für widersinnig, die Be-

ziehung zwischen Schätzwerten und den äquivalenten Meßgrößen in eine mathematische "Kurve" zu zwingen.

Im "Ausblick" wird eine Verstärkung der Anstrengungen zur verlässlichen Bestimmung der Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe über See und die Verbesserung der Windstärke-Schätzung gefordert.

Abstract

The Equivalents of the Wind Velocity for the Beaufort Numbers as Derived from Observations of German Ship-borne Meteorological Forecasting Stations.

The measuring of wind velocity on board ships is not free from certain inaccuracies, and estimating the wind force by the Beaufort resp. Petersen scale includes many errors. These are discussed in detail and a survey in a kind of a synoptical table is given. Then some statistical problems are dealt with which are important when the results of simultaneous measurements and estimates are evaluated and the average equivalents are determined. In particular, it is discussed how the specific way of arranging the material (Beaufort estimates or measured values of wind velocity as dependent variables) will affect the result. There is some influence of the "basic frequency", i.e. the frequency distribution of the observations (e.g. Beaufort estimates) used as argument, on the means of the dependent variables (e.g. the simultaneously measured wind velocities) which are to be determined.

The Beaufort equivalents are computed from more than 16.300 measurements of the wind velocity and simultaneous estimates made by the personnel of three German ship-borne meteorological forecasting stations whereby the "basic frequency" is taken into consideration and the Beaufort estimates are used as arguments. Corrections are introduced accounting for the oscillations of the anemometer fixed at the top of the mast and for the gustiness; also for reducing the wind speed to the height of 10 metres above the water surface. Moreover, for light winds and for gales, the equivalents are computed with the measured wind velocities chosen as argument. Hereby, an amplified material of observations is used.

Additionally, the anemometer measurements of the ship-borne weather stations are compared with Beaufort estimates of trawlers being located nearby. The equivalents are computed. The estimates were chosen as argument and allowance was made for the basic frequency of observations in the various "classes". In the case of weak and moderate winds, some trawlers frequently note too low a Beaufort force. - Moreover, simultaneous estimates of ships' officers and of meteorological personnel are compared with each other.

The results of former investigations on the Beaufort equivalents and conversion scales which were in use or which were proposed for practical use are given and contrasted with own results. The differences are discussed. For most wind forces, the equivalents as determined from the observations of the ship-borne meteorological stations are found to fall between the International Scale of 1946 and the scale which was proposed by the Commission for Maritime Meteorology 1964 (CMM - IV).

The author pronounces himself against the frequent change of the international scale of equivalents as far as the practical meteorological service is concerned. In his opinion, it is also impossible or even inconsistent to press the relation between the estimated values and the equivalent measured quantities into a mathematical "curve".

In an "outlook" it is proposed to intensify the efforts for a reliable determination of the wind velocity in 10 metres height above the sea surface and to improve the estimates of the wind force.

Schrifttum

- W.T.R. Allen, Equivalent speeds for the Beaufort numbers.
Bericht für WMO, CMM-IV (1964)
- K. Brocks, Probleme der maritimen Grenzschicht der Atmosphäre.
Ber. Dtsch. Wetterd. Nr. 91 (1963), S. 34-46
- I.A. Burnett, Equivalent wind speeds for the Beaufort numbers.
Bericht in WMO, CMM-IV, Doc. 4, Appendix C (1964)
- R.H. Curtis, An attempt to determine the velocity equivalents of
wind-forces estimated by Beaufort's scale. Quart.
Journ. Roy. Met. Soc. XXIII (1897), S. 24-61.
- E.L. Deacon, The over-estimation error of cup anemometers in
fluctuating winds. Journ. of Sci. Instrum. 28
(London 1951), S. 231-234
- J.M. Dury und G. Verploegh, Report on the accuracy of routine measurements
of the wind speed and direction on board a sailing
vessel. WMO, CMM-IV, Doc. 4, Appendix D (1964)
- T.H. Ellison, Atmospheric turbulence. Survey on Mechanics.
Cambridge Univ. Press, 1956
- H. Ertel, Zur Psychophysik der Windstärkeschätzungen. Sitz.
Ber. Dtsch. Akad. Wiss. Berlin 1950, Nr. 1
- P.H. Gallé, Waarnemingen in den N. Atlantischen Oceaen in
Mei 1914, hoofdzakelijk ter vergelijking van
gemeten en geschatte windkracht en windrichting.
Kon. Ned. Met. Inst. N^o 102. Med. en Verh. 19,
Utrecht 1915.
- H. Jeffreys, On the formation of water waves by wind. Proc. Roy.
Soc. A, 107 (1925) S. 189 ff
- W. Köppen, Neuere Bestimmungen über das Verhältnis zwischen
Windgeschwindigkeit und Beaufortskala, Arch. d.
Dtsch. Seewarte, Hamburg, XXI 1898, N^o 5.
- W. Köppen, Beaufortskala und Windgeschwindigkeit (Zur Theorie
der meteorologischen Korrelationen) Met. Zeitschr.
1916, S. 88-91.
- W. Köppen, Über geschätzte Windstärken und gemessene Windge-
schwindigkeiten. Ann. Hydr. u. Mar. Met. 1926,
S. 362-366

- H. Kruhl, Bericht der Bordwetterwarte "Anton Dohrn" über die Fischereiforschungsfahrt vom 5. bis 22. Juni 1957. - Nicht veröffentlicht -.
- N.U. Kučerov, Messungen der Windgeschwindigkeit auf Schiffen (in Russisch). Trudy Geophys. Obs. Leningrad. Bd. 127 (1962), S. 88-92
- E. Kuhlbrodt, Vergleich geschätzter Windstärken mit gemessenen Windstärken auf See. Ann. d. Hydr. u. Mar. Met. 1936, 2. Köppen-Heft, S. 14-23
- W. Leistner, Ein Beitrag zur Frage der Umrechnung von Windstärke-schätzungen in Windgeschwindigkeitswerte nach Beobachtungen in Wyk auf Föhr. Met. Rundsch. 18 (1965), S. 87-89
- F.E. Lumb, Equivalent speeds of Beaufort numbers. WMO, CMM-IV, Doc. 4, Appendix E (1964).
- L. Otto Note on the influence of currents upon wind estimates. Journ. Appl. Met. 2 (1963), S. 186-190
- P. Petersen, Zur Bestimmung der Windstärke auf See Ann.d.Hydr. u. Mar. Met. 1927, S. 69-72 und S. 394
- W.J. Pierson, Jr., The interpretation of wave spectrums in terms of the wind profile instead of the wind measured in a constant height. Journ. Geophys. Res. 69 (1964), N^o 24, S. 5191 ff.
- H. Regula, Bodenwindbeobachtungen und Höhenwindmessung auf MS "Schwabenland". Ann.d.Hydr. u. Mar. Met. 1937, S. 307-311
- H. Regula, Geschwindigkeitsverteilungen in Warm- und Kaltluftströmungen über See. Ann.d.Hydr. u. Mar. Met. 1939, S. 310
- J. Richter, Geschwindigkeitsäquivalente der Windstärkeschätzungen nach Beobachtungen auf deutschen Feuerschiffen. Ann.d.Met. Bd. 7 (1955/56), S. 267-287
- J. Richter, Beitrag zur Frage der Umrechnung von Windstärkeschätzungen in Windgeschwindigkeiten nach Beobachtungen in Wyk auf Föhr. Met. Rundsch. 18 (1965), S. 89-91.

- H.U. Roll, Zur Reduktion der Windgeschwindigkeitsmessungen an Bord auf 10 m Höhe. Ann.d.Meteorol. 4 (1951), S. 410
- H.U. Roll, Gibt es eine "kritische Windgeschwindigkeit" für Prozesse an der Grenzfläche Wasser-Luft? Geofisica pura e appl. 21 (1952), S. 110-126
- H.U. Roll, Beaufortäquivalente auf See bei verschiedenen thermischen Schichtungen, angewendet auf die Bestimmung der Windschubspannung an der Meeresoberfläche. Ann.d.Meteorol. 6 (1953/54), S. 193-201
- M. Sanuki und S. Kimura, The change of rotational speed of cup anemometers for marine use due to rolling and suspected cause of its damage. Papers in Met. and Geophys. IV (1953), S. 93/94
- M. Sanuki und S. Kimura, Experiments on a Marine Combination Wind Vane and Anemometer in pitching and rolling motion. Papers in Met. and Geophys. (Tokyo) 5 (1955), S. 35-40
- M. Sanuki und S. Kimura, Experiments on a cup anemometer in pitching and rolling motion. Papers in Met. and Geophys. (Tokyo) 5 (1955), S. 233-235
- R. Scherhag, Windstärkenangabe in km/Stunde statt in Beaufort! Ann.d.Hydr. u. Mar. Met. 1937, S. 169-172
- A.H. Schooley, Simple tools for measuring wind fields above wind-generated water waves. Journ. of Geophys. Res. 68 (1963), N^o 19, S. 5497-5504
- W.W. Schulejkin, Theorie der Meereswellen (in deutscher Sprache: E. Bruns), Berlin 1960
- H. Seilkopf, Maritime Meteorologie in: Handbuch der Fliegerwetterkunde Bd. II., Berlin 1939
- H. Seilkopf, Bemerkungen über die Wirkung des "Plankton-Faktors" des Schäumens des Meerwassers auf die Bestimmung der Geschwindigkeits-Äquivalente der Windschätzungen auf See. Ann. Met. 7 (1955/56), S. 404-409
- W. Shinnars, Comparison of measured and estimated wind at sea. Beitrag für WMO, CMM-IV, Washington 1963
- G.C. Simpson, The velocity equivalents of the Beaufort-Scale. Prof. Notes N^o 44, London 1926

- A.I. Sorkina, Über die Genauigkeit von Windmessungen auf Schiffen
(in Russisch). Arb. d. Staatl. Ozeanogr. Inst. Moskau
Bd. 51 (1960), S. 24-25
- A.I. Sorkina, Methoden der Windbeobachtungen vom Schiff aus. Trudy
N.U. Kučerov und Gosm. Okeanogr. (Moskau) Bd. 61 (1961), S. 199-207
N.P. Goptarev,
- G. Verploegh, Nieuwe aequivalenten voor de Beaufortschaal geldend
voor waarneningen op zee. Kon. Ned. Met. Inst.,
Wetenschapp. Rapp. WR 54-003 (IV-009) De Bilt 1954
- G. Verploegh, The equivalent velocities for the Beaufort estimates
of the wind force at sea. Kon. Ned. Met. Inst.,
Mededel. en Verbandt N^o 66, s'Gravenhage 1956
- F. Waldo, Vergleich von Beaufort's Skala und Windgeschwindigkeit.
Met. Zeitschr. 1888, S. 239/40

Verzeichnis der Tabellen:

- Tabelle 1 Mittelwerte der Anemometer-Ablesungen (kn) für gleichzeitig geschätzte Beaufort-Windstärken (unkorrigiert)
- Tabelle 2 Mittelwerte der Anemometer-Ablesungen (kn) für gleichzeitig geschätzte Beaufort-Windstärken. Zusammengefaßt 1) nach Beobachtern, 2) nach Schiffen
- Tabelle 3 Einfluß des Temperaturunterschiedes Luft/Wasser ($\Delta T = T_L - T_W$). Prozentuale Häufigkeitsverteilungen der Windgeschwindigkeiten (kn), die bei gleichzeitig geschätzten Bft-Stufen und 4 Klassen von ΔT gemessen wurden. Aufteilung in je 2 Abschnitte zu Vergleichszwecken
- Tabelle 4 Summierte prozentuale Häufigkeiten der bei den geschätzten Bft-Stufen gemessenen Windgeschwindigkeiten v für je 2 Teilbereiche der Verteilung in Abhängigkeit von ΔT .
- Tabelle 5 Äquivalent-Mittelwerte von v für Beaufort-Stufen. Bei der Berechnung nach Bft-Stufen geordnet
- Tabelle 6 Berechnung der Beaufort-Mittel für kleine Werte von v (Beobachtungen geordnet nach v)
- Tabelle 7 Absolute Häufigkeiten der Bft-Schätzung für $v = 37$ bis 60 kn
- Tabelle 8 Berechnung der Äquivalente für Sturmstärken (Ordnung nach v)
- Tabelle 9 Äquivalent-Mittelwerte für Fischdampfer-Schätzungen
- Tabelle 10 Häufigkeit des Zusammentreffens von Beaufort-Schätzwerten der Nautiker und von gemessenen Windgeschwindigkeiten (Knoten, unkorrigiert) aus 10 Bordwetterwartenreisen. (Zahl der Fälle)
- Tabelle 11 Auszählung über gleichzeitige Schätzwerte von Nautikern und meteorologischem Fachpersonal (Zahl der Fälle)
- Tabelle 12 Ergebnisse von Beaufort-Äquivalent-Bestimmungen und Skalen für Beaufort-Äquivalente

Verzeichnis der Abbildungen:

- Abb.1 Auswirkung der Grundhäufigkeit
- Abb.2 Korrektur der Stufenhäufigkeit innerhalb einer vorgegebenen Klasse ($v = 48$ kn)
- Abb.3 Verteilungen der Windgeschwindigkeits-Messungen für vorgegebene zugehörige Beaufort-Stufen
- Abb.4 Verteilungen von Beaufort-Schätzungen zu vorgegebenen Windgeschwindigkeiten v
- Abb.5 Zahl der Beobachtungen = Grund-Häufigkeit für ≥ 7 Bft
- Abb.6 Summierte prozentuale Häufigkeiten für Teilbereiche mit jeweils kleineren Windgeschwindigkeiten
- Abb.7 Erhöhung der wahren Windgeschwindigkeit v durch Bewegungen des Anemometers am Mast
- Abb.8 Ergebnisse von Äquivalent-Berechnungen und Gegenüberstellung mit vorhandenen Skalen
- Abb.9 Beziehung zwischen Beaufort-Stufen und korrigierter gemessener Windgeschwindigkeit
- Abb.10 Beziehung zwischen Beaufort-Stufen und korrigierter gemessener Windgeschwindigkeit
- Abb.11 Beaufort-Äquivalente aus Vergleichen mit Fischdampfer-Beobachtungen und Gegenüberstellung mit anderen Äquivalent-Skalen

Bft	0	0-1	1	1-2	2	2-3	3	3-4	4	4-5	5	5-6	6	6-7	7	7-8	8	8-9	9	9-10	10	10-11	11	11-12	12	Zahl der Beobachtungen Number of observations	
B. "Meerkatze" "Anton Dohrn"	0,4	3,4	3,2	5,3	6,5	9,3	10,0	11,9	13,9	16,5	18,6	23,7	23,8	26,9	29,2	32,6	35,1	38,8	42,1	(45,8)	(50,0)		(58,0)			1058	
F. "Meerkatze" "Poseidon"	0,1	(2,8)	4,3	5,1	7,7	8,5	11,4	13,1	15,4	17,7	19,9	21,8	24,9	28,1	30,8	32,2	36,1	37,5	40,3	(45,6)	(47,8)	(48,0)				1611	
"Anton Dohrn"	0,0	(1,0)	2,9	4,3	6,8	8,5	10,4	12,0	14,4	16,6	19,1	21,4	24,1	26,1	28,9	32,5	35,3	36,9	(41,4)	(45,7)	(49,0)	(51,0)				1174	
"Anton Dohrn"	0,0	(2,7)	(5,0)	(5,7)	7,2	9,1	11,8	13,7	15,3	18,0	20,7	22,7	24,5	27,7	30,5	33,2	35,8	39,4	42,0	(48,0)	(46,6)	(48,0)	(49,3)			709	
H. "Meerkatze"	2,3	(2,9)	4,2	5,0	8,0	9,7	11,6	13,0	14,8	16,8	19,5	21,9	25,1	28,1	30,3	34,0	36,9	40,7	44,0	(46,7)	(50,4)	(50,0)			(47,0)	2697	
S. "Meerkatze"	1,0	(1,0)	3,0	7,0	5,8	9,2	9,0	13,1	13,9	17,4	18,4	22,2	23,6	(26,9)	29,1	(36,3)	35,7	(41,4)	41,2	(48,0)	45,1		(49,0)			1536	
"Poseidon"	1,4	(1,0)	3,2	3,4	6,4	8,0	9,6	12,8	13,9	16,2	18,5	21,2	23,5	26,8	30,0	32,7	36,4	36,4	43,8	(45,0)	48,9		(55,3)		(62,0)	1891	
"Anton Dohrn"	0,1	(0,0)	2,9	5,4	6,4	9,1	9,7	13,2	13,7	17,2	18,4	20,6	23,7	27,2	29,9	34,1	35,4	40,2	41,6	(43,4)	49,8	(50,0)	(50,0)			(72,0)	1294
T. "Meerkatze"	0,0	(1,0)	2,3	3,9	5,1	7,1	9,3	11,7	13,4	15,9	18,9	21,7	24,2	27,1	29,8	31,6	35,8	40,0	(43,9)	(50,0)	(51,0)	(56,0)			(76,0)	1439	
"Anton Dohrn"	0,0	(3,5)	2,6	4,4	5,2	8,3	10,0	12,5	14,3	16,5	19,0	21,8	23,8	27,1	29,6	32,7	35,7	39,8	42,5	(45,8)	(50,0)	(49,0)	(53,0)			(80,0)	1362
																								Zusammen: 16357 Total			

* (): Zahl der Beobachtungen: 3-10
Number of observations
[]: Zahl der Beobachtungen: ≤ 2
Number of observations

Tabelle 1:
Mittelwerte der Anemometer-Ablesungen (kn) für gleichzeitig geschätzte Beaufort-Windstärken (unkorrigiert)*
Average of anemometer readings (kts) for simultaneously estimated Beaufort wind forces (uncorrected) *

Bft Beob. Observ.	0	0-1	1	1-2	2	2-3	3	3-4	4	4-5	5	5-6	6	6-7	7	7-8	8	8-9	9	9-10	10	10-11	11	11-12	12		
B	0,5	3,6	4,0	5,5	6,8	9,5	10,2	12,1	14,0	16,7	18,7	22,8	24,0	26,8	29,4	32,3	35,3	38,2	41,7	(45,0)	(51,0)		(58,0)	(57,5)			
F	0,1	2,0	3,7	4,7	7,3	8,6	11,1	12,7	15,1	17,3	19,7	21,8	24,6	27,1	30,3	32,7	35,8	37,9	41,0	45,8	47,9	(49,3)	(49,3)				
H	2,3	(2,9)	4,2	5,0	8,0	9,7	11,6	13,0	14,9	16,8	19,5	21,9	25,2	28,1	30,3	34,1	36,9	40,7	44,0	(46,4)	(50,4)	(50,0)			(47,0)		
S	0,8	1,6	3,0	5,6	6,1	8,8	9,4	12,9	13,9	16,7	20,0	21,6	23,6	26,9	29,6	33,4	35,8	38,7	42,1	45,7	48,1	(50,0)	52,6		(68,0)		
T	0,0	(2,0)	2,4	4,3	5,1	7,9	9,6	12,1	13,8	16,2	18,7	21,8	24,0	27,1	29,7	32,3	35,8	39,9	42,7	(46,4)	(50,0)	(50,0)	(53,0)			(78,0)	
Schiffe/ships																											
"Meerkatze"	0,9	2,5	3,5	5,3	7,0	9,1	10,4	12,4	14,4	16,6	20,0	22,4	24,4	27,5	29,8	33,0	36,0	39,6	42,1	46,4	47,0	(50,2)	(51,3)			(66,3)	
"Poseidon"	0,6	0,9	3,0	4,0	6,5	8,4	9,8	12,3	14,0	16,5	18,7	21,3	23,7	26,4	29,7	32,6	36,0	36,7	43,5	45,6	48,9	(51,3)	(55,3)	(62,0)			
"Anton Dohrn"	0,2	3,7	3,7	5,0	6,3	8,9	10,2	12,8	14,2	17,0	19,0	21,7	24,0	27,1	29,9	32,8	35,6	39,0	41,7	44,6	49,6	(50,2)	(57,5)	(74,0)			

* (): Zahl der Beobachtungen 3 bis 10
Number of observations
[]: Zahl der Beobachtungen ≤ 2
Number of observations

Tabelle 2:
Mittelwerte der Anemometer-Ablesungen (kn) für gleichzeitig geschätzte Beaufort-Windstärken, zusammengefaßt 1) nach Beobachtern, 2) nach Schiffen
Average anemometer readings (kts) for simultaneously estimated Beaufort wind forces, arranged separately for observers and for ships

Windgeschwindigkeit wind speed	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	26
0 Bft $\Delta T > 0^\circ$	85,1	0,8	4,1	0,8	1,7	2,5	0,8			1,7	1,7	0,8												
0 bis $-1,0^\circ$	92,0	3,2	3,2																					
-1,1 bis $-2,5^\circ$	91,2	4,4	4,4																					
< $-2,5^\circ$	94,2		2,9		2,9																			
1 Bft $\Delta T > 0^\circ$	5,4	3,3	32,9	16,8	13,4	8,9	8,7	2,0	3,4	3,4	2,0		0,7											
0 bis $-1,0^\circ$	41,6			58,4			58,4																	
-1,1 bis $-2,5^\circ$	7,0	3,5	27,9	17,4	10,5	12,8	8,1	3,5	4,6	2,3	1,2		1,2											
< $-2,5^\circ$	38,4			61,6			61,6																	
2 Bft $\Delta T > 0^\circ$	0,5			8,7	21,6	16,7	8,7	11,7	9,0	10,4	7,2	3,7	1,0	0,3	0,3				0,2					
0 bis $-1,0^\circ$	0,3	0,7		47,5	0,3	10,2	29,4	19,1	14,9	11,6	5,3	4,3	2,0	1,3	0,3	0,3								
-1,1 bis $-2,5^\circ$	1,0			60,0	2,4	11,6	23,8	21,3	10,7	11,6	9,2	4,9	1,0	1,5	0,5	0,5								
< $-2,5^\circ$	3,0			60,1	2,2	9,1	24,2	21,1	10,3	9,9	8,6	6,5	2,2	1,7	0,4	0,4							0,4	
3 Bft $\Delta T > 0^\circ$						0,3	2,4	2,5	10,0	19,6	24,4	12,0	13,1	5,7	4,0	2,7	1,8	0,7	0,4	0,1			0,3	
0 bis $-1,0^\circ$						34,8																		
-1,1 bis $-2,5^\circ$	0,2			0,2	0,6	0,4	3,3	4,5	14,5	20,7	27,2	9,6	7,2	4,7	4,5	1,0	0,8	0,2	0,4					
< $-2,5^\circ$	0,3			0,3	0,6	0,6	2,6	3,2	13,2	19,4	22,9	10,9	10,9	4,7	6,2	2,4	1,8	0,3	0,3					
						39,6																		
				0,3	0,9	2,7	2,7	14,7	19,4	24,2	9,3	12,6	4,8	4,5	1,5	0,9	0,3		0,3			0,3	0,6	
						40,7																		
															59,3									

Tabelle 3:

Einfluß des Temperaturunterschiedes Luft/Wasser ($\Delta T = T_L - T_W$). Prozentuale Häufigkeitsverteilungen der Windgeschwindigkeiten (kn), die bei gleichzeitig geschätzten Bft-Stufen und 4 Klassen von ΔT gemessen wurden. Aufteilung in je zwei Abschnitte zu Vergleichszwecken.
 Effect of the temperature difference air/water ($\Delta T = T_L - T_W$). Frequency distributions of wind speeds (kts) in percent for simultaneously estimated Beaufort forces and 4 classes of ΔT . Separation into two sections for comparing easily.

	1		2		3		4		5		6		7		8		9 Bft	
$\Delta T > 0^{\circ}$	41,6	58,4	47,5	52,5	34,8	65,2	33,6	66,4	44,7	55,3	61,3	38,7	39,1	60,9	54,3	45,7	%	
0 - $-1,0^{\circ}$	38,4	61,6	60,0	40,0	44,4	55,6	42,7	57,3	49,8	50,2	60,1	39,9	43,1	56,9	62,9	37,1		
$-1,1^{\circ}$ - $-2,5^{\circ}$	53,7	46,3	60,1	39,9	39,6	60,4	35,4	64,6	50,4	49,6	62,6	37,4	36,5	53,5	54,6	45,4		
$< -2,5^{\circ}$	50,0	50,0	59,6	40,4	40,7	59,3	40,5	59,5	41,3	58,7	60,0	40,0	42,5	57,5	65,3	34,7		
v-Bereich (kn) range of v (kts)	≤ 2	> 2	≤ 6	> 6	≤ 9	> 9	≤ 13	> 13	≤ 18	> 18	≤ 24	> 24	≤ 29	> 29	≤ 36	> 36		

Tabelle 4: Summierte prozentuale Häufigkeiten der bei den geschätzten Beaufort-Stufen gemessenen Windgeschwindigkeiten v (kn) für je zwei Teilbereiche der Verteilung in Abhängigkeit von ΔT .
Frequencies of measured wind speed (2 sections of the distribution) as for the various Beaufort estimates, arranged for classes of ΔT

Bft	0	0-1	1	1-2	2	2-3	3	3-4	4	4-5	5	5-6	6	6-7	7	7-8	8	8-9	9	9-10	10	10-11	11	11-12	Bft
Zahl der Beobachtungen	266	75	410	255	1140	534	1866	636	2021	737	2277	835	1705	540	1307	413	693	197	254	61	88	19	16	4	
N_v (nicht korrigiert) Grund-Häufigkeit berücksichtigt	0,44	1,75	2,60	4,16	6,20	8,30	9,88	12,34	14,31	16,84	19,21	21,92	24,56	27,61	30,48	33,69	36,73	40,50	44,10	46,62	51,33	51,33	55,98	58,38	
Korrektur von N_v wegen	Anemometer-Bewegung	(-0,1)	-0,2	-0,3	-0,4	-0,4	-0,5	-0,5	-0,5	-0,4	-0,4	-0,4	-0,3	-0,3	-0,3	-0,3	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	} kn
	BSigkeitswirkung	-0,05	-0,1	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
zur Reduktion auf 10 m Höhe	-0,1	-0,1	-0,1	-0,2	-0,2	-0,3	-0,4	-0,5	-0,5	-0,6	-0,7	-0,8	-0,9	-1,1	-1,1	-1,3	-1,4	-1,6	-1,8	-2,0	-2,3	-2,3	(-2,5)	(-2,6)	
Äquivalent-Mittelwert N_v	0,2	1,4	2,0	3,4	5,4	7,3	8,9	11,2	13,2	15,7	18,0	20,7	23,4	26,2	29,1	32,1	35,1	38,7	42,1	44,4	48,3	48,9	53,4	55,7	
Differenz (nur zwischen vollen Beaufortgraden)	1,8		3,4		3,5		4,3		4,8		5,4		5,7		6,0		7,0		6,8		4,5				

Tabelle 5: Äquivalent-Mittelwerte von v (kn) für Beaufort-Stufen, bei der Berechnung nach Beaufort-Stufen geordnet.

Average wind speed (kts) equivalents for Beaufort-forces. For computation material arranged in Beaufort-forces

Beobachtete Windgeschwindigkeit v	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	} kn	
Korrektion wegen	Anemometer-Bewegung	./.	-0,2	-0,2	-0,3	-0,4	-0,4	-0,4	-0,4	-0,5	-0,5		-0,5
	Böigkeitswirkung		-0,1	-0,1	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2		-0,1
	Reduktion auf 10 m Höhe		-0,1	-0,1	-0,1	-0,2	-0,2	-0,2	-0,3	-0,3	-0,4		-0,4
Korrigierte beobachtete v		0,6	1,6	2,4	3,2	4,2	5,2	6,1	7,0	7,9	9,0		
Zahl der Beobachtungen	271	46	196	144	246	408	377	302	492	595	720		
Mittelwert M_B (Grund-Häufigkeit berücksichtigt)	0,11	0,56	0,83	1,11	1,35	1,46	1,63	2,03	2,30	2,55	2,76	Bft	

Tabelle 6: Berechnung der Beaufort-Mittel für kleine Werte von v
(Beobachtungen geordnet nach v)
Computation of average Beaufort forces for small values of v
(Data arranged as dependant on v)

Bft \ v	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	
7	2	1	1	2	1	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
7-8	11	7	3	3	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
8	138	161	52	75	5	7	3	3	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
8-9	10	45	32	81	22	32	5	14	3	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
9	7	32	15	52	32	64	35	59	25	30	9	12	2	1	-	1	-	-	-	1	-	-	-	-	
9-10	-	-	-	5	2	8	8	12	13	14	6	16	4	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
10	-	2	-	2	2	6	3	7	6	11	6	27	8	33	3	15	3	7	1	-	-	-	-	-	
10-11	-	-	-	-	-	-	1	-	1	-	5	3	10	1	3	-	5	1	4	-	-	-	-	-	
11	-	-	-	1	-	-	-	1	3	-	1	1	5	-	3	1	2	-	4	1	6	-	2	-	
11-12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	1	3	1	4	-	2	-	-	
12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	
Zusammen	168	248	103	221	66	119	54	96	48	61	21	61	18	53	4	22	4	15	3	12	2	10	-	6	1415

Tabelle 7: Absolute Häufigkeiten der Beaufort-Schätzung für v = 37 bis 60 kn.
Absolute frequencies of estimates in Beaufort for v = 37 to 60 kts

1. Beobachtete Windgeschwindigkeit v	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	} kn
2. Anemometer-Korrektur	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,2	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	-0,1	
3. Böigkeitseffekte	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
4. Zur Reduktion auf 10 m Höhe	-1,5	-1,5	-1,6	-1,6	-1,7	-1,7	-1,8	-1,8	-1,9	-2,0	-2,0	-2,1	-2,1	-2,2	-2,3	-2,3	-2,4	-2,4	-2,5	-2,5	-2,6	-2,7	-2,7	-2,8	
5. Korrigierte beobachtete v	35,3	36,3	37,2	38,2	39,1	40,1	41,0	42,0	42,9	43,8	44,8	45,7	46,7	47,7	48,6	49,6	50,5	51,5	52,4	53,4	54,3	55,2	56,2	57,1	
6. Mittelwert M_B^* ohne Berücksichtig. d. Grund-Häufigkeit	8,04	8,20	8,28	8,46	8,72	8,86	9,03	9,05	9,27	9,39	9,43	9,73	9,92	10,13	10,13	10,15	10,25	10,40	10,67	10,79	11,25	11,20	-	11,50	Bft
7. Zahl der Beobachtungen	168	248	103	216	63	113	54	96	48	61	21	61	18	53	4	22	4	15	3	12	2	10	-	6	
8. Mittelwert M_B (Grund-Häufigkeit berücksichtigt)	8,12	8,42	8,45	8,83	8,65	9,06	9,31	9,33	9,60	9,90	9,57	9,98	10,46	10,40	10,30	10,48	10,76	10,78	11,38	11,14	11,51	11,37	-	11,64	Bft

* Unsichere Extrapolation
Extrapolation not certain

Tabelle 8:
Berechnung der Äquivalente für Sturmstärken (Ordnung nach v).
Computation of equivalents for gale forces
(Data arranged for wind speed values v)

a) für 10-Grad-Feld 60-70° N, 10-20° W

Bft:	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Zahl der Beobachtungen	/	32	88	119	91	39	26	15	15
M_V^* (nicht korrigiert)		9.82	7.63	13.27	19.15	25.54	28.47	33.98	38.57
Korrektur von M_V^* wegen	Anemometer-Bewegung	-0.3	-0.4	-0.5	-0.5	-0.4	-0.3	-0.3	-0.2
	Böigkeitswirkung	-0.2	-0.2	-0.1	-0.1	-0.1	-	-	-
	Reduktion auf 10 m Höhe	-0.1	-0.2	-0.4	-0.5	-0.7	-0.9	-1.1	-1.4
Äquivalent-Mittelwert M_V	/	9.2	6.8	12.3	18.1	24.3	27.3	32.6	37.0

b) für 10-Grad-Feld 60-70° N, 20-30° W

Bft:	0	1	2	3	4	5	6	7	8
Zahl der Beobachtungen	60	190	282	263	205	151	56	11	/
M_V^* (nicht korrigiert)	2.51	5.68	9.41	15.16	20.42	22.99	27.19	32.11	
Korrektur (vgl. Tab. 5)	-0.25	-0.6	-0.8	-1.0	-1.1	-1.2	-1.4	-1.6	
M_V	2.3	5.1	8.6	14.2	19.3	21.8	25.8	30.5	/

Tabelle 9: Äquivalent-Mittelwerte für Fischdampfer-Schätzungen
Average equivalents for estimates of trawlers

Knoten	Beaufort →												Σ	
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11		12
0	24	1	6											31
1	1		1											2
2	2	5	5	1										13
3	2	7	4	-	1									14
4	1	6	10	-	-									17
5	3	9	29	3	1	1								46
6	2	3	14	2	1	1								23
7	4	-	15	5	1	-								25
8	-	-	11	27	4	1								43
9	1	-	12	24	4	2	1							44
10	1	1	17	30	8	-	-							57
11		1	12	20	9	4	-							46
12		-	16	17	14	8	-							55
13		1	5	20	23	3	-							52
14		-	6	13	19	4	1	1						44
15		-	2	11	14	7	2	-						36
16		1	4	9	20	17	2	-						53
17		1	-	9	12	18	1	-						41
18			2	3	13	32	7	-						57
19			1	2	7	16	5	-						31
20				2	4	31	18	2	1					58
21				-	7	10	11	-	-					28
22				-	3	11	19	-	1					34
23				-	3	11	25	3	-					42
24				1	4	11	23	8	-					47
25				-	2	7	22	1	-					32
26				1	-	7	27	7	1					43
27					1	2	5	9	-					17
28						3	8	16	3					30
29						1	7	15	3					26
30						1	6	31	2	1				41
31							5	9	1	-				15
32							2	11	10	-				23
33							2	8	9	-				19
34							1	5	19	1				26
35							-	3	11	1				15
36							-	-	11	1				12
37							-	2	11	1				14
38							1	2	5	1				9
39									4	2	1			7
40									8	7				15
41									1	2				3
42									1	6				7
43									1	1				2
44									1	2	1	1		5
45									-	5	-			5
46									1	3	1			5
47									1	-	1			2
48										3	5			8
49										-	-			-
50										1	5			6
> 50										1	5	2	2	10

1336

Tabelle 10: Häufigkeit des Zusammentreffens von Beaufort-Schätzwerten der Nautiker und von gemessenen Windgeschwindigkeiten (Kn, unkorrigiert) aus 10 Bordwetterwartenreisen (Zahl der Fälle)
 Estimates in Beaufort of the ships' officers and measured wind speeds (kts, not corrected) from 10 voyages. Absolute frequencies (Number of cases)

Schätzung des meteorologischen Fachpersonals →
 Estimates of meteorological personnel →

Differenz: Nautiker - met. Fachpersonal (in Beaufort)
 Difference: ships+ officers / met. personnel (Beaufort)

Beaufort Ab- weichung →	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Σ
+ 4	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
+ 3 1/2	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1
+ 3	-	-	1	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	2
+ 2 1/2	4	1	1	1	-	-	-	1	-	-	-	-	-	8
+ 2	9	-	3	5	3	2	-	-	-	-	-	-	-	22
+ 1 1/2	3	3	1	4	5	11	5	1	1	-	-	-	-	34
+ 1	2	18	16	19	43	23	16	12	4	3	1	-	-	157
+ 1/2	-	14	26	12	13	23	20	11	5	4	1	-	-	129
0	16	18	55	93	82	107	125	94	68	30	15	2	2	707
- 1/2	-	-	7	39	14	13	18	17	9	3	1	-	-	121
- 1	-	2	6	47	55	36	41	25	15	12	3	-	-	242
- 1 1/2	-	-	-	5	13	8	5	6	-	-	-	-	-	37
- 2	-	-	5	2	15	8	5	1	2	-	-	-	-	38
- 2 1/2	-	-	-	-	1	1	2	2	-	-	-	-	-	6
- 3	-	-	-	3	-	3	1	-	-	-	-	-	-	7
- 3 1/2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
- 4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Σ	34	58	121	230	245	235	238	170	104	52	21	2	2	1512

Tabelle 11:
 Auszählung über gleichzeitige Schätzwerte von Nautikern und meteorologischem Fachpersonal
 (Zahl der Fälle)
 Enumeration: Simultaneous estimates of ships' officers and meteorological personnel

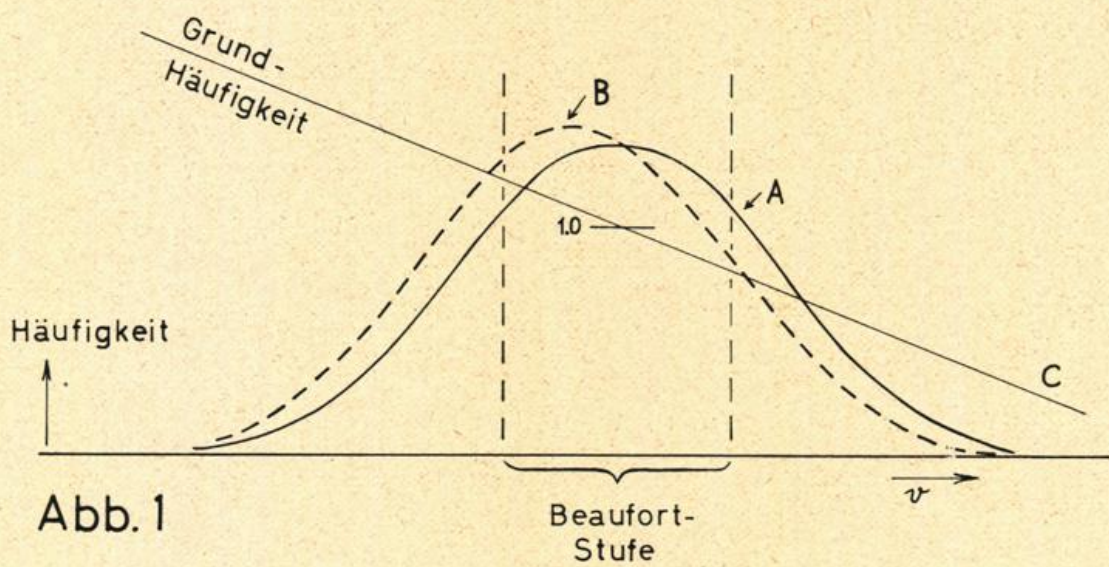


Abb. 1

Auswirkung der Grundhäufigkeit (s. Text, Seite 18 unten)
 Effect of the basic frequency

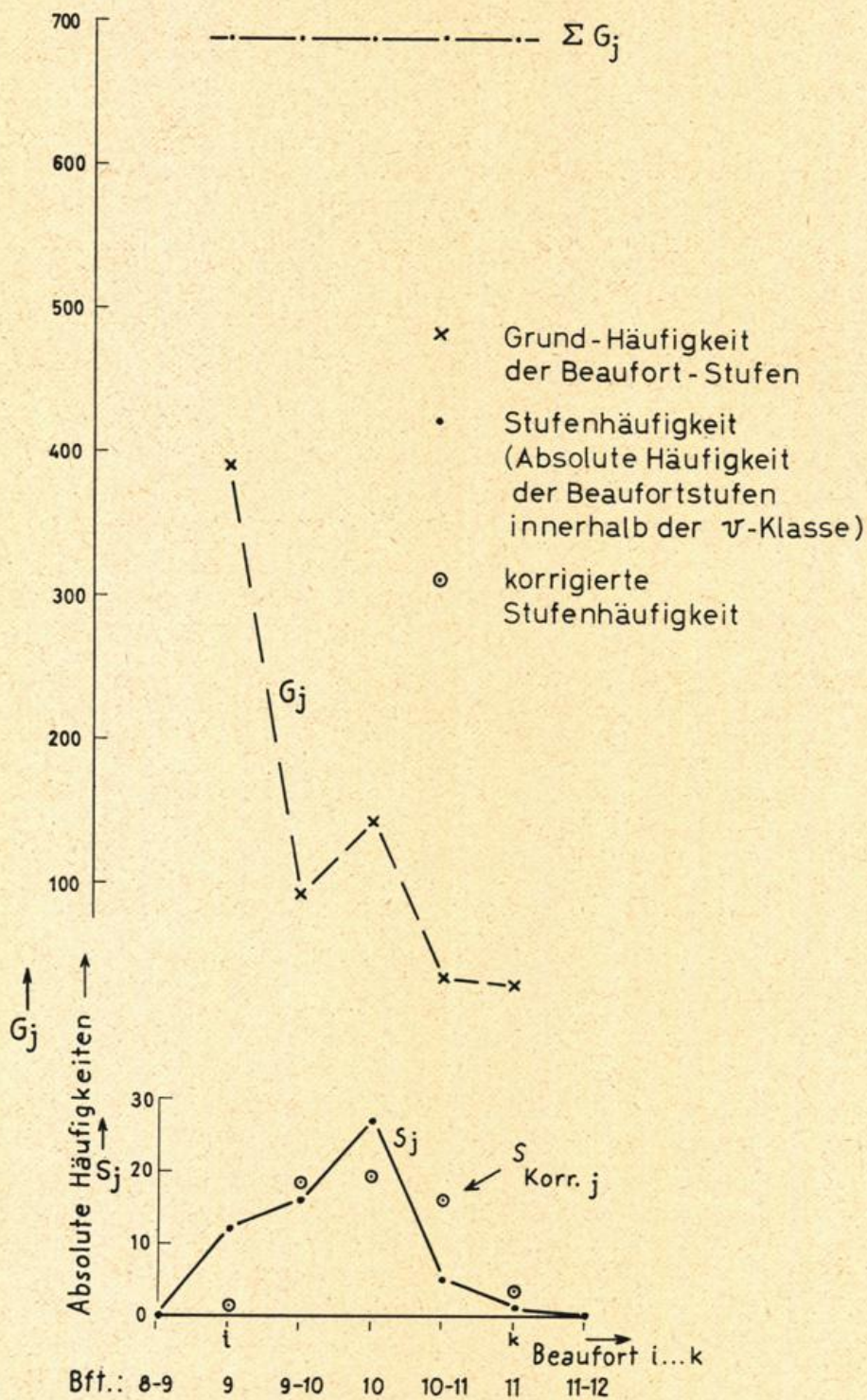


Abb.2

Korrektion der Stufenhäufigkeit innerhalb einer vorgegebenen Klasse ($v = 48 \text{ kn}$) (vgl. Seite 19, letzter Absatz)

Correction of the frequency of Beaufort numbers within a given class ($v = 48 \text{ kts}$)

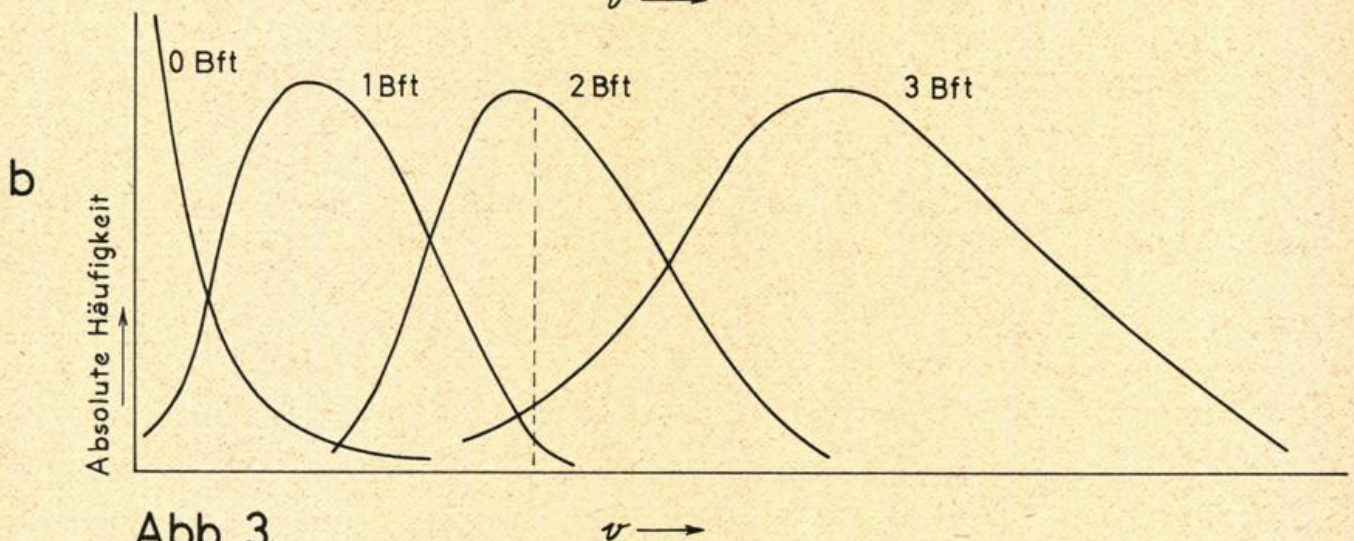
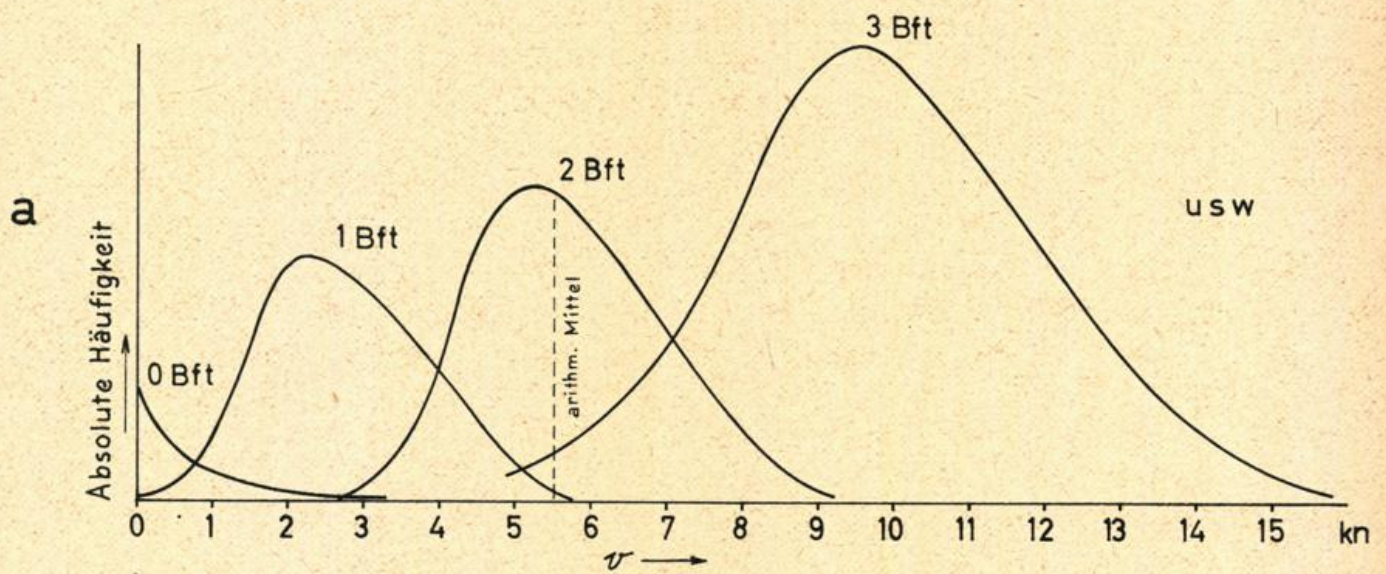


Abb. 3

Verteilung der Windgeschwindigkeits-Messungen für vorgegebene zugehörige Beaufort-Stufen (vgl. Seite 21, Abschn. 5.3)

Distribution of wind speed values for given Beaufort numbers

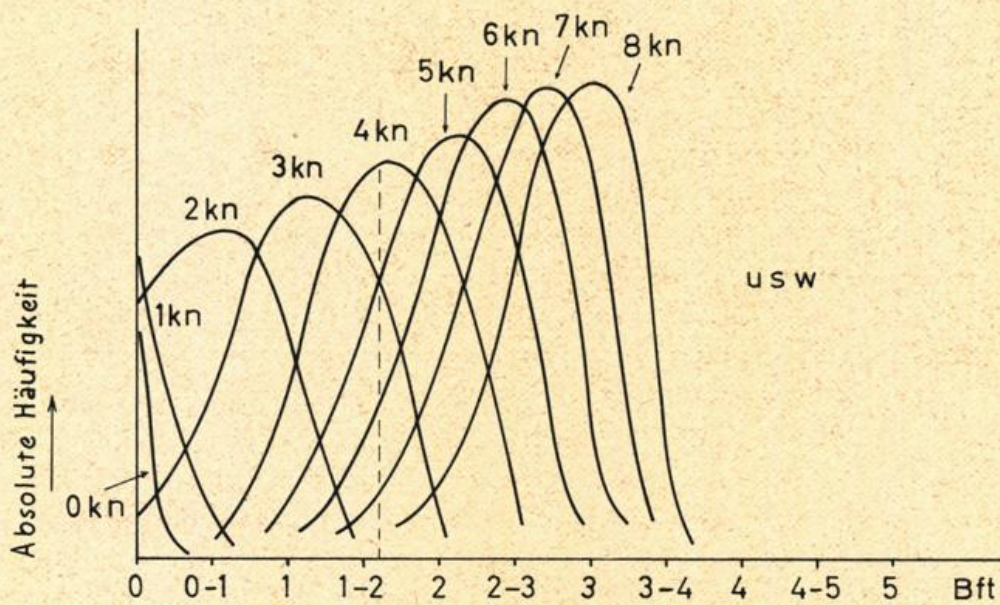


Abb. 4

Verteilung von Beaufort-Schätzungen zu vorgegebenen
Windgeschwindigkeiten v (s. Text Seite 22)

Distributions of Beaufort estimates for given wind
velocities v

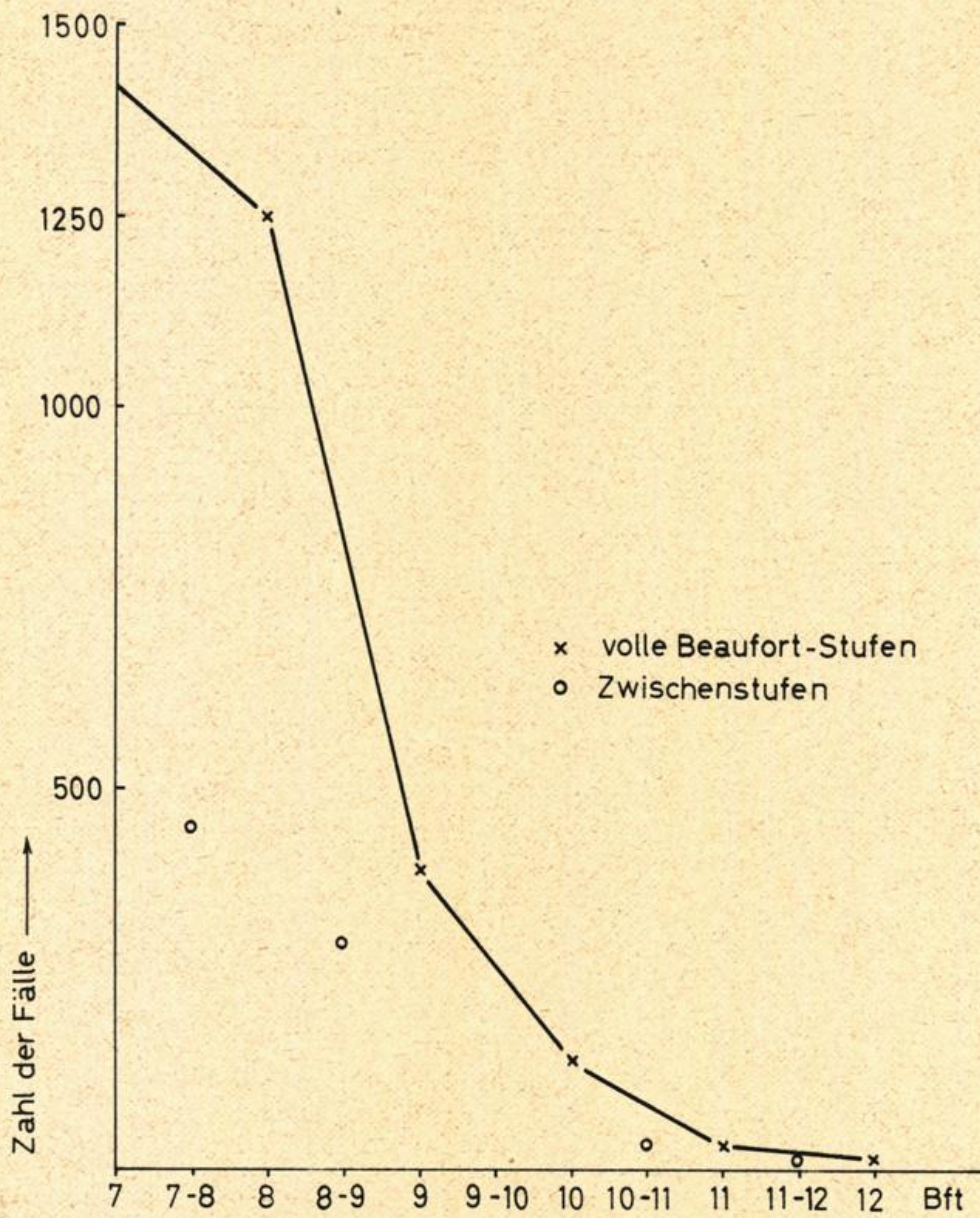


Abb. 5

Darstellung der Grundhäufigkeit für ≥ 7 Bft
 Basic frequency for ≥ 7 Bft

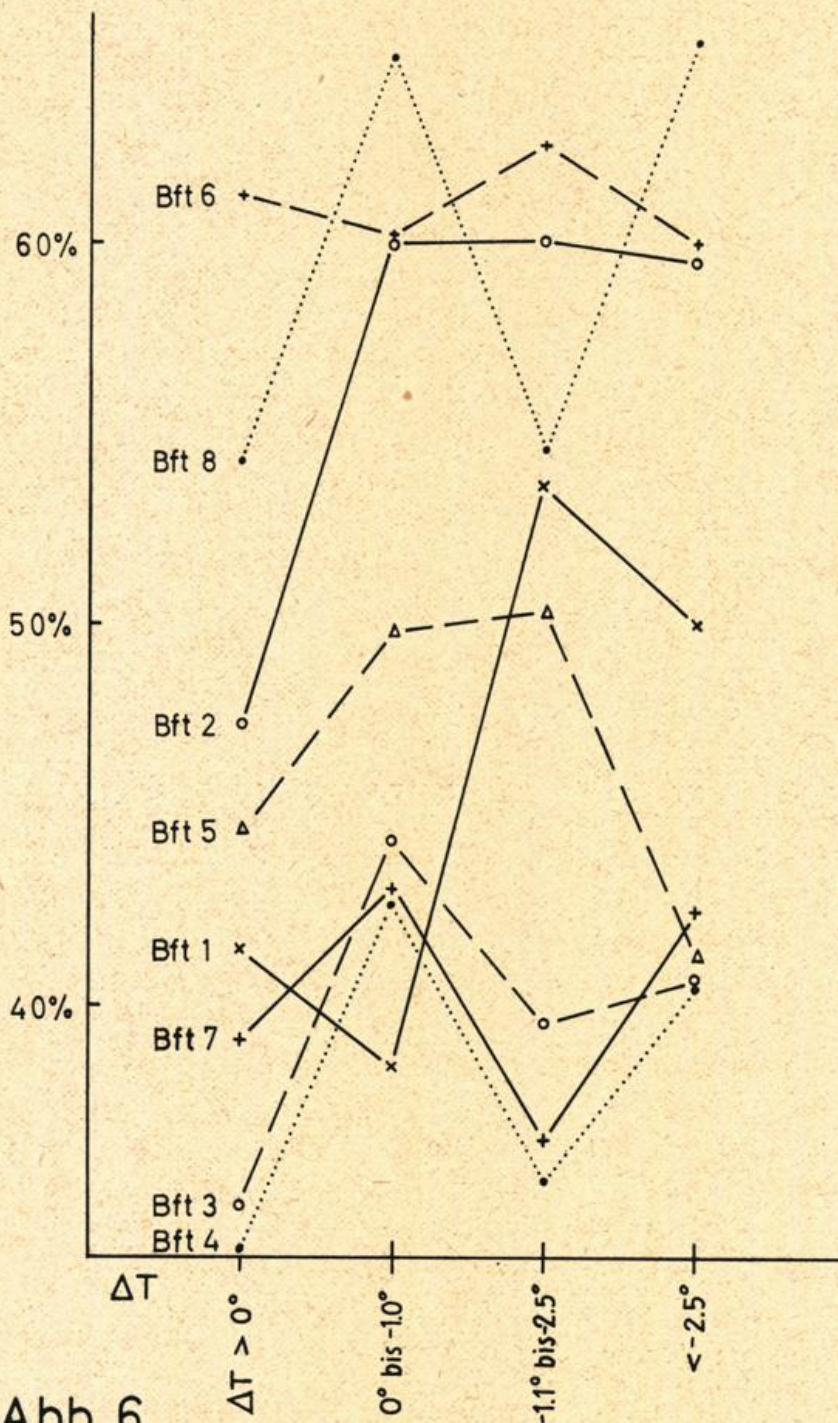


Abb. 6

Summierte prozentuale Häufigkeiten für Teilbereiche mit jeweils kleineren Windgeschwindigkeiten (vgl. Tab. 4 und Text Seite 26)

Added percentage frequencies of wind velocities for portions which contain the wind velocities below a limit within the various collections of Beaufort numbers. (see Table 4)

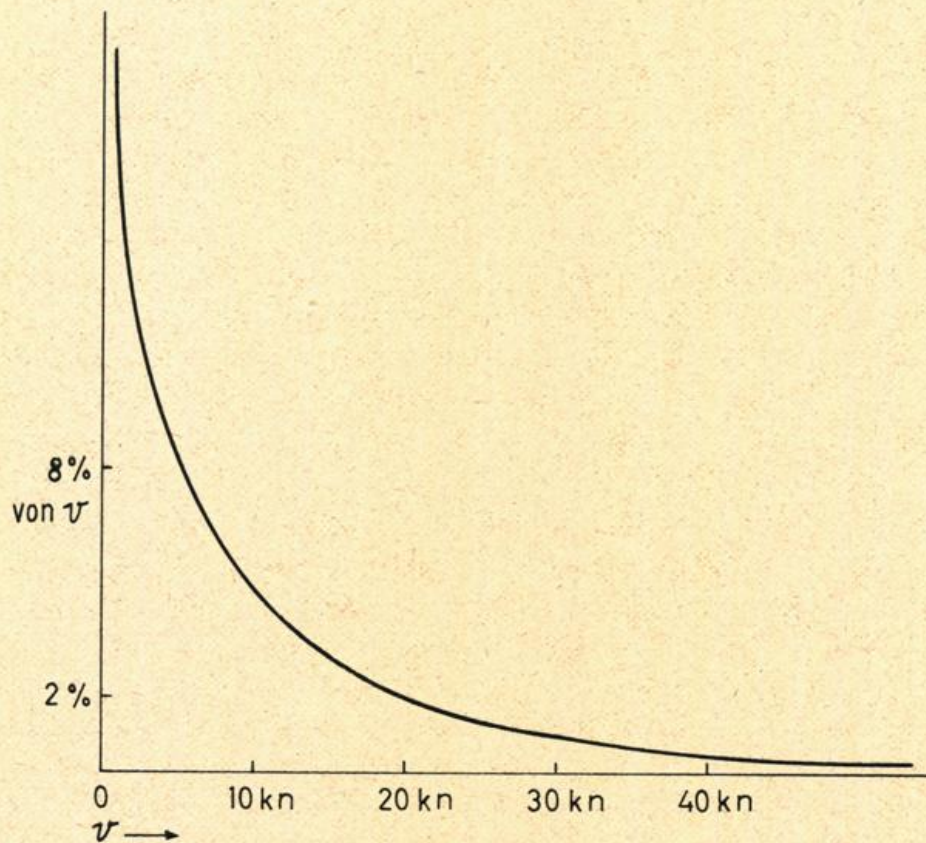


Abb. 7 Erhöhung der wahren Windgeschwindigkeit v durch Bewegungen des Anemometers am Mast
 Increase of the real wind velocities v by movements of the anemometer at the mast

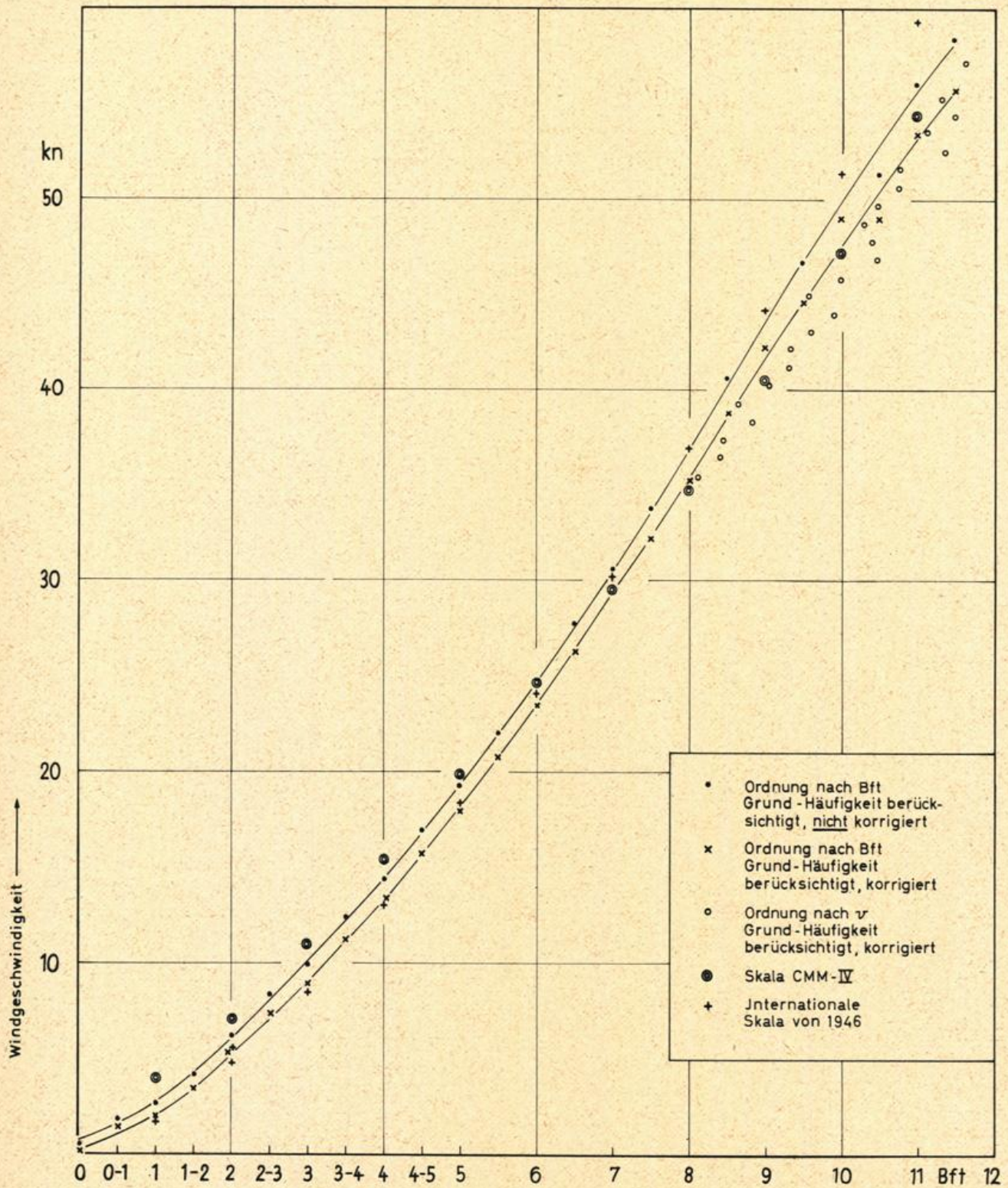
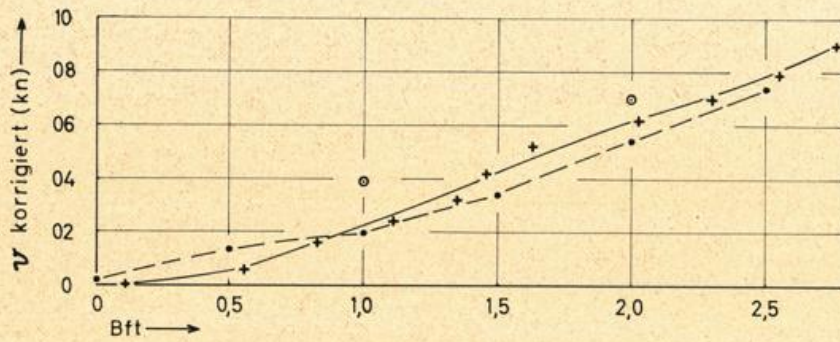


Abb. 8 Unterschiedlich berechnete Äquivalent-Mittel
 Average equivalents having been computed by different methods



- + Die Größen M_B aus Tabelle 6
(Daten geordnet nach v)
- Die Größen M_V aus Tabelle 5
(Daten geordnet nach Bft)
- ⊙ Vorschlag CMM IV

Abb. 9

Beziehung zwischen Beaufort-Stufen und korrigierter gemessener
Windgeschwindigkeit

Relation between Beaufort numbers and corrected measured wind
velocity

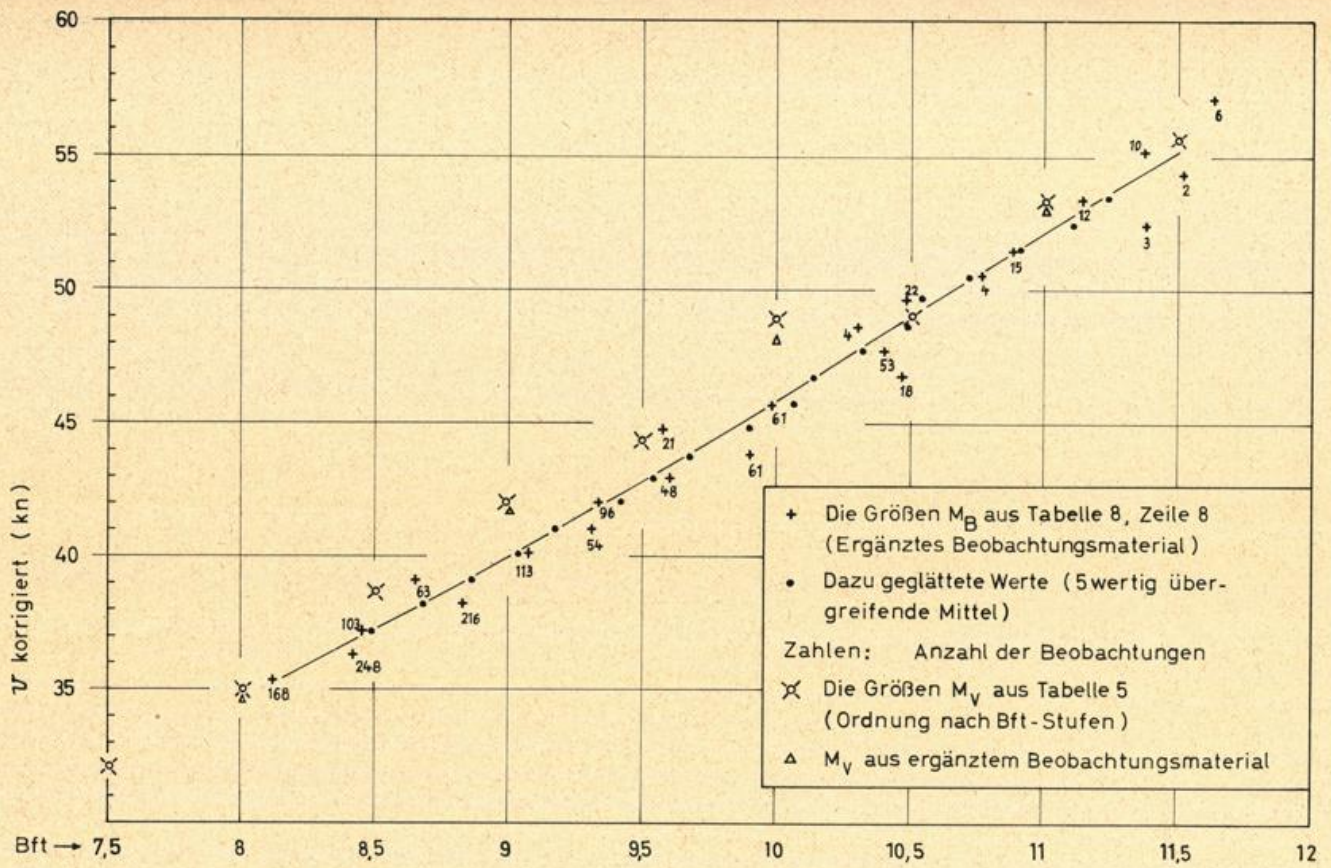


Abb.10 Beziehung zwischen Beaufort-Stufen und korrigierter gemessener Windgeschwindigkeit
 Relation between Beaufort numbers and corrected measured wind velocity

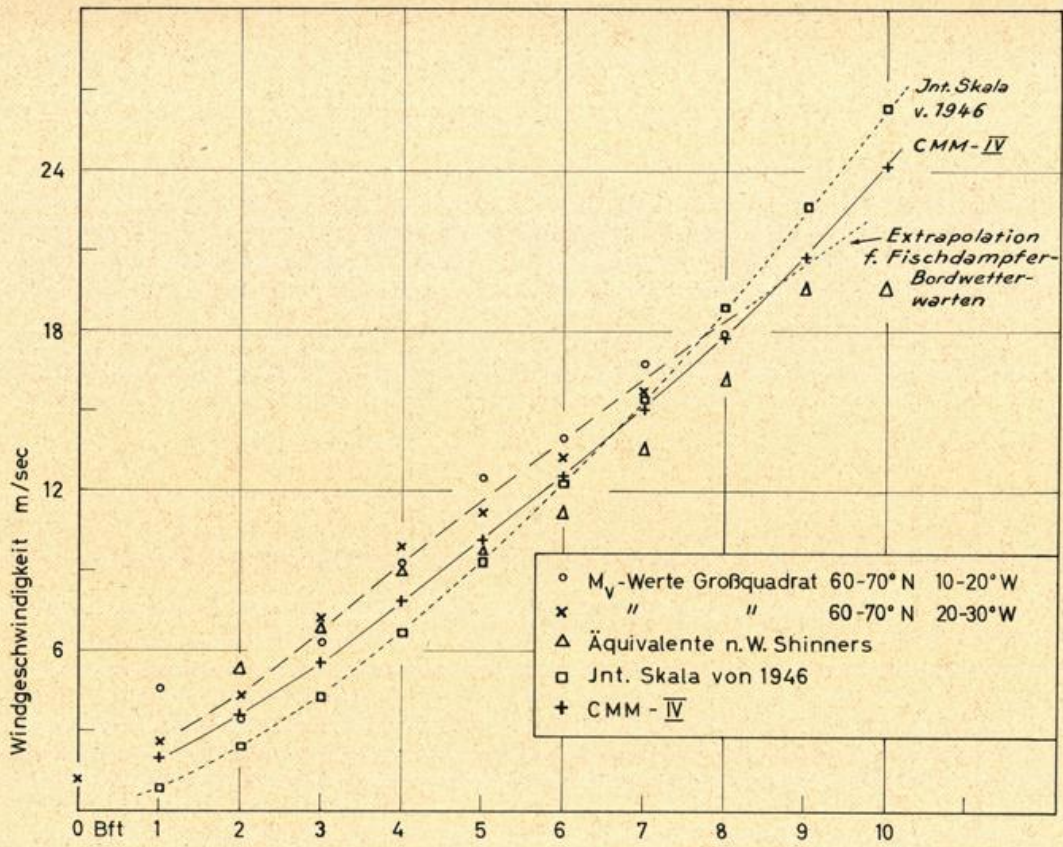
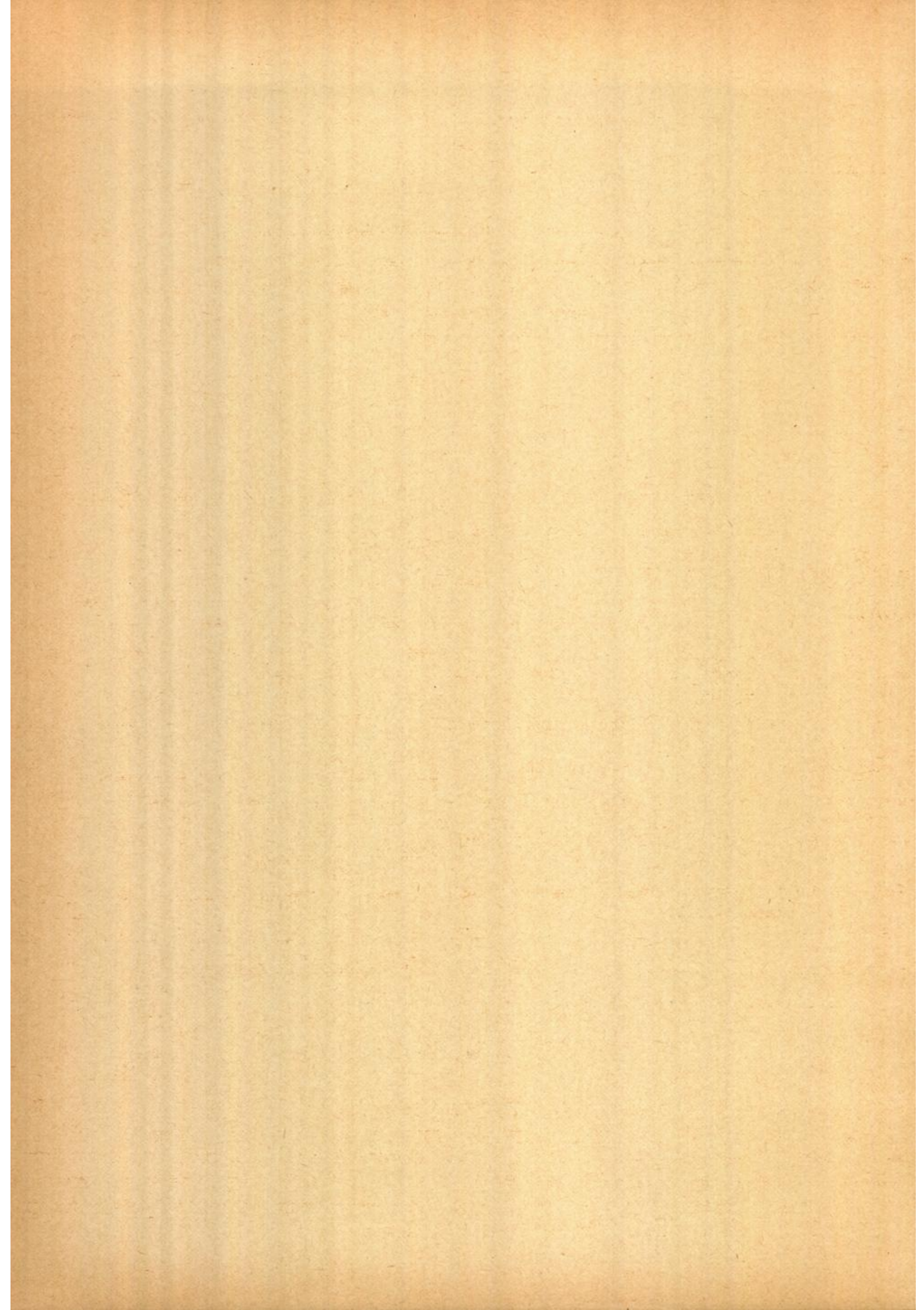


Abb.11 Gegenüberstellung von Äquivalentwerten unter Zugrundelegung von Fischdampfer-Schätzungen
 Comparison of equivalent values which were computed from estimates of trawlers



- Nr. 34 (1962) Über den Geländeeinfluß auf Windrichtung und Windgeschwindigkeit im Raum Hamburg (E. Franken)
- Nr. 35 (1962) Meteorologische Beobachtungen von deutschen Feuerschiffen der Nord- und Ostsee (Bundesrepublik) 1958
- Nr. 36 (1962) Meteorologische Beobachtungen von deutschen Feuerschiffen der Nord- und Ostsee (Bundesrepublik) 1959
- Nr. 37 (1963) Klimatologie des Mittelmeeres. Teil 2: Temperatur, Bewölkung, Niederschlag, Nebel (H. Markgraf)
- Nr. 38 (1963) Zur Klimatologie des Nordatlantischen Ozeans. Teil 1: Text (C. Pflugbeil)
- Nr. 39 (1963) Zur Klimatologie des Nordatlantischen Ozeans. Teil 2: Tabellen (C. Pflugbeil und E. Steinborn)
- Nr. 40 (1963) Zur Klimatologie des Nordatlantischen Ozeans. Teil 3: Abbildungen (C. Pflugbeil und E. Steinborn)
- Nr. 41 (1964) Die Eigenschaften der Meereswellen im Nordatlantischen Ozean (H. Walden)
- Nr. 42 (1964) Meteorologische Beobachtungen von deutschen Feuerschiffen der Nord- und Ostsee (Bundesrepublik) 1960
- Nr. 43 (1964) Die Bestimmung des Tiefwasserseegangs aus seinen skalar-spektralen Komponenten bei bekannten Windverhältnissen (J. Piest)
- Nr. 44 (1964) Die Kälte der Winter im norddeutschen Raum; Teil 1: Herstellung homogener Reihen der Kältesummen (H. Müller-Annen)
- Nr. 45 (1965) Meteorologische Beobachtungen von deutschen Feuerschiffen der Nord- und Ostsee (Bundesrepublik) 1961
- Nr. 46 (1965) Gleichzeitige Seegangsmessungen in der Deutschen Bucht mit dem „Seengangsbeschleunigungsmesser mit photographischer Registrierung“ und ihre Auswertung zum Studium des Seegangs beim Einlaufen in das Wattenmeer (H. Walden, A. Lang u. J. Piest).
- Nr. 47 (1965) Die Windgeschwindigkeits-Äquivalente der Beaufortgrade nach Beobachtungen deutscher Bordwetterwarten (H. Walden)

1. The first part of the document is a list of names and addresses. The names are written in a cursive hand, and the addresses are in a more formal, printed style. The list is organized into columns, with names in the first column and addresses in the second and third columns. The names include "John Smith", "Mary Jones", and "Robert Brown". The addresses are "123 Main Street, New York, NY" and "456 Elm Street, New York, NY".

2. The second part of the document is a list of names and addresses. The names are written in a cursive hand, and the addresses are in a more formal, printed style. The list is organized into columns, with names in the first column and addresses in the second and third columns. The names include "John Smith", "Mary Jones", and "Robert Brown". The addresses are "123 Main Street, New York, NY" and "456 Elm Street, New York, NY".