



Berichte des Deutschen Wetterdienstes

165

**Die Windverhältnisse in der Bundesrepublik Deutschland im
Hinblick auf die Nutzung der Windkraft (insbesondere
Verbundnetzplanung)
Teil III: Binnenland; Teil IV: Küstenvorfeld**

von
Christina Lefebvre
Günter Jurksch
Heiner Schmidt
Bernd Morgeneyer
Monika Ulbricht-Eissing



Zitationsvorschlag:

Lefebvre, Christina; Jurksch, Günter; Schmidt, Heiner...: Die Windverhältnisse in der Bundesrepublik Deutschland im Hinblick auf die Nutzung der Windkraft (insbesondere Verbundnetzplanung) Teil III: Binnenland; Teil IV: Küstenvorfeld. - Offenbach am Main: Selbstverlag des Deutschen Wetterdienstes, 1983.
(Berichte des Deutschen Wetterdienstes ; 165)

ISSN der Onlineausgabe: 2194-5969

ISSN der Druckausgabe: 0072-4130

Nutzungsbedingungen



Dieses Dokument steht unter folgender Creative Commons-Lizenz

Sie dürfen das Werk bzw. den Inhalt unter folgenden Bedingungen vervielfältigen, verbreiten und öffentlich zugänglich machen: Sie müssen den Namen des Autors/Rechteinhabers in der von ihm festgelegten Weise nennen. Dieses Werk bzw. dieser Inhalt darf nicht für kommerzielle Zwecke verwendet werden und es darf nicht bearbeitet, abgewandelt oder in anderer Weise verändert werden.

Mit der Verwendung dieses Dokumentes erkennen Sie die Nutzungsbedingungen an.

Herausgeber und Verlag: :

Deutscher Wetterdienst
Frankfurter Straße 135
D- 63067 Offenbach am Main

Internet: www.dwd.de

Mail: bibliothek@dwd.de

Teil III: Binnenland

von

Ch. Lefebvre und G. Jurksch

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
Zusammenfassung/Abstract	5
1 EINLEITUNG	5
2 DATENMATERIAL	5
3 HÄUFIGKEITSVERTEILUNG VORGEGEBENER SCHWELLENWERTE DER WINDGESCHWINDIGKEIT	5
3.1 Windgeschwindigkeit kleiner als 3.0 m/s (Flauten)	5
3.1.1 Mittlere jährliche Anzahl der Stunden in %	5
3.1.2 Mittlere monatliche Anzahl der Stunden in %	6
3.1.3 Mittlerer Tagesgang	6
3.1.4 Mittlere Flautendauer	6
3.1.5 Mittlere jährliche Häufigkeitsverteilung der Großwetterlagen (GWL) für Tage mit Flautenperioden von mindestens 6-, 12- und 24-stündiger Dauer	7
3.2 Windgeschwindigkeiten von mindestens 5, 8 und 12 m/s	8
3.2.1 Mittlere jährliche Anzahl der Stunden in %	8
3.2.2 Mittlere monatliche Anzahl der Stunden in %	8
3.2.3 Mittlerer Tagesgang	8
4 VERTEILUNG DER BRUTTOJAHRESENERGIE AUF VORGEGEBENE WINDGESCHWINDIGKEITS-INTERVALLE	8
5 VERBUND ZWEIER WINDKRAFTANLAGEN	9
5.1 Vorbemerkung	9
5.2 Basisstation Hallig Hooge	10
5.3 Basisstation Emden	11
5.4 Basisstation Hannover-Langenhagen	11
5.5 Basisstation Kleiner Feldberg/Ts.	12
5.6 Basisstation München-Riem	13
5.7 Folgerungen	13
6 VERBUND DREIER WINDKRAFTANLAGEN	13
6.1 Vorbemerkung	13
6.2 Basisstationen Hallig Hooge (A) und List/Sylt (B)	13
6.3 Basisstationen Hallig Hooge (A) und Kahler Asten (B)	14
6.4 Basisstationen Emden (A) und Helgoland (B)	14
6.5 Basisstationen Hannover-Langerhagen (A) und Kahler Asten (B)	14
6.6 Basisstationen Kl. Feldberg/Ts. (A) und Wasserkuppe (B)	14
6.7 Basisstationen München-Riem (A) und Wendelstein (B)	15
6.8 Folgerungen	15
7 ERGEBNISÜBERSICHT	15
8 LITERATUR	16
Anhang zu Teil III: 29 Tabellen 8 Abbildungen	19 49

Zusammenfassung

An Hand der Windgeschwindigkeitskollektive des Zeitraumes 1969 bis 1974 von 59 Stationen des Deutschen Wetterdienstes, die eine einheitliche Anemometerhöhe von 10 m über Grund aufweisen, wird untersucht, ob sich aus meteorologischer Sicht Verbundnetze von Windkraftanlagen in der Bundesrepublik Deutschland betreiben lassen.

Abstract

On the basis of data sets for the period 1969 to 1974 from 59 stations of Deutscher Wetterdienst, which have a uniform height of anemometer (10 m above ground level), investigations are made, whether it is practicable from a meteorological point of view to use networks of wind energy converters in the Federal Republic of Germany.

1 EINLEITUNG

Die Kernforschungsanlage Jülich hat den Deutschen Wetterdienst beauftragt, die bereits vorliegende Untersuchung über die Windverhältnisse in der Bundesrepublik Deutschland im Hinblick auf die Nutzung der Windkraft weiterzuführen und dabei den Aspekt der Verbundnetzplanung für Windkraftanlagen eingehender abzuhandeln.

In Anlehnung an [1] übernahm wiederum das Zentralamt des Deutschen Wetterdienstes die anwendungsorientierte Bearbeitung für das Binnenland als Teil III dieser Anschlußstudie, das Seewetteramt Hamburg ihren Teil IV (Küste und Küstenvorfeld).

2 DATENMATERIAL

Als Grundlage der Untersuchung werden - wie in [1] - die stündlichen Registrierungen der Windgeschwindigkeit herangezogen. Um die Vergleichbarkeit zu gewährleisten, bleibt auch der Auswertzeitraum 1969 bis 1974 unverändert. Da die Problemstellung jedoch annähernd gleiche Aufstellungshöhen der Anemometer erfordert, muß allerdings die ursprüngliche Stationsauswahl von 74 auf 59 Stationen verringert werden (Tab. 1). Trotz dieser Reduzierung

der Stationszahl bleiben die bereits festgelegten Eignungszonen für die Windkraftnutzung (siehe auch Abb. 30 in [1]) vom Datenkollektiv her hinreichend abgedeckt.

3 HÄUFIGKEITSVERTEILUNG VORGEGEBENER SCHWELLENWERTE DER WINDGESCHWINDIGKEIT

3.1 Windgeschwindigkeit kleiner als 3.0 m/s (Flauten)

3.1.1 Mittlere jährliche Anzahl der Stunden in %

Die mittlere jährliche Flautenhäufigkeit ist für die Bundesrepublik Deutschland bereits in [1] flächenmäßig dargestellt. Es zeigt sich dabei eine vom Küstenbereich landeinwärts gerichtete Flautenzunahme, wobei in windgeschützten Tallogen des Mittelgebirgsraumes und Süddeutschlands sogar durchschnittliche Flautenanteile von über 70 % (\approx 6132 Jahresstunden) erreicht werden. Dieser Flautenzunahme ist in höheren Lagen des Mittelgebirgslandes sowie am Alpennordrand eine durch das Gelände-relief und die Seehöhe bedingte Abnahme der Flautenhäufigkeit überlagert, die bis an die Größenordnung des Küstenbereiches (20 % aller Jahresstunden und weniger) heranreichen kann.

3.1.2 Mittlere monatliche Anzahl der Stunden in %

In den Einzelmonaten ist der mittlere Flautenanteil recht unterschiedlich. Während sich die Stationen im Küstenbereich durch mittlere monatliche Flautenhäufigkeiten bis unter 10 % (\approx 67.2 bis 74.4 Stunden je nach Monatslänge) auszeichnen und einen recht ausgeglichenen Jahresgang aufweisen, besitzt letzterer landeinwärts unterschiedlich große mittlere Amplituden, insbesondere kann der mittlere Flautenanteil im Sommerhalbjahr oft bis zu 30 % über dem des Winterhalbjahres liegen (Abb. 1).

Im wesentlichen zeigen die mittleren relativen Jahresgänge der Flautenhäufigkeit spiegelbildliche Verläufe zu den entsprechenden mittleren Jahresgängen der Windgeschwindigkeit (siehe auch Abb. 3 bis 5 in [1]). Einschränkend ist wiederum hervorzuheben, daß sich der sechsjährige Zeitraum als zu kurz für weitergehende Betrachtungen erweist: so ist beispielsweise das ausgeprägte Novemberminimum durch die Intensität seltener Sturmlagen überbetont [2].

3.1.3 Mittlerer Tagesgang

Der mittlere jährliche Tagesgang der Flautenhäufigkeit (als Prozentanteil der jeweils einzelnen Tagesstunden) bezieht sich wie übrigens der mittlere relative Jahresgang nur auf die Aufstellungshöhen der Anemometer (Tab. 1). Eine Umrechnung auf beliebige Höhen über Grund ist nicht zulässig.

Die Flautenhäufigkeit - mit Ausnahme der Bergstationen - zeigt im mittleren jährlichen Tagesgang ein recht ausgeprägtes Häufigkeitsminimum in den Mittags- oder Nachmittagsstunden sowie ein Maximum, das sich zeitlich etwas differenzierter auf die Nacht- bzw. die frühen Morgenstunden verteilt (Abb. 2). Diese tageszeitliche Extremwertanordnung korrespondiert

- wenn auch gegenläufig - meist mit dem Niedertyp des mittleren jährlichen Tagesganges der Windgeschwindigkeit (siehe auch Abb. 7 in [1]).

Demgegenüber stehen die höher gelegenen Stationen mit einem mittleren Tagesgang der Flautenhäufigkeit, der in etwa invers zum Übergangs- oder Höhentyp des mittleren jährlichen Tagesganges der Windgeschwindigkeit verläuft (Abb. 3), (siehe auch Abb. 8 und 9 in [1]).

Eine gewisse Ausnahme bilden Stationen des Küstenbereichs wie BÜsum, Hallig Hooge, List/Sylt, Norderney, an denen mittlere relative Tagesgänge der Flautenhäufigkeit wegen des selteneren Auftretens von Flauten nur wenig ausgeprägt sind (Abb. 2).

3.1.4 Mittlere Flautendauer

Die mittlere Andauer von Flauten sowie die mittlere Häufigkeitsverteilung der Andauerstunden sind in [1] bereits dargestellt.

Betrachtet man im Hinblick auf noch folgende Ausführungen für wenige, ausgewählte Stationen nochmals die mittlere jährliche Zahl der Tage mit einer Flautendauer von mindestens 6, 12 und 24 Stunden, so ist beispielsweise in List/Sylt (Küstenbereich) nur an durchschnittlich 42 Tagen pro Jahr mit einer Flautenperiode von mindestens 6-stündiger Dauer zu rechnen; bei mindestens 24-stündiger Dauer sind es im Mittel lediglich 0.3 Tage. Noch annähernd vergleichbare Verhältnisse sind in exponierteren Höhenlagen des Binnenlandes anzutreffen, wie es die Andauerstatistik der Wasserkuppe andeutet. Demgegenüber stehen dann die Tallogen des Alpennordrandes mit großer durchschnittlicher Häufigkeit länger anhaltender Flautenperioden. Das Beispiel der Wetterstation Garmisch-Partenkirchen soll dabei ergänzend verdeutlichen, daß es innerhalb dieser Tallogen selbst noch Standorte bzw. Standortbereiche gibt, die durch Geländere relief und

Bewuchs sehr windgeschützt sind und daher in Bodennähe an durchschnittlich fast jedem Einzeltag des Jahres eine mindestens 6-stündige Flautendauer aufweisen (Tab. 2).

3.1.5 Mittlere jährliche Häufigkeitsverteilung der Großwetterlagen (GWL) für Tage mit Flautenperioden von mindestens 6-, 12- und 24-stündiger Dauer

Im Zeitraum 1969 bis 1974 weisen die zyklonalen Westlagen (WZ) mit einem mittleren Anteil von 15.3 % die größte Häufigkeit auf, gefolgt von Hochdruckbrücken über Mitteleuropa (BM) mit 6.7 %, von antizyklonalen Westlagen (WA) mit 6.1 % und den Hochdrucklagen über Mitteleuropa (HM) mit 5.4 %. Die restlichen Großwetterlagen sind durchweg seltener (Tab. 3).

Im Vergleich zur Großwetterlagenstatistik eines längeren Bezugszeitraumes, wie sie in [3] zusammengestellt ist, sind in dem sechsjährigen Zeitraum insbesondere die antizyklonalen Nordwestlagen (NWA) und die Hochdruckgebiete über Mitteleuropa (HM) in ihrer durchschnittlichen Häufigkeit um mehr als 3 bzw. 5 % zurückgetreten, ohne daß sich aber für den Zeitraum 1969 bis 1974 ein eindeutiger Trend zur Zyklonalität herleiten läßt.

Die (absolute) mittlere jährliche Anzahl der Tage mit einer bestimmten Großwetterlage ist praktisch identisch mit Tabelle 4 (dort Spalte $N \geq 6$ Stunden für Garmisch-Partenkirchen). An dieser Station sind nämlich nur an zwei Tagen des Zeitraumes 1969 bis 1974 und bei zyklonaler Westlage (WZ) keine Flautenperioden von mindestens 6-stündiger Dauer aufgetreten.

Innerhalb dieser Großwetterlagenverteilung für den Zeitraum 1969 bis 1974 sind im Küstenbereich, in weiten Teilen der Norddeutschen Tiefebene sowie in Höhenlagen Mittel- und Süddeutschlands Flautenperioden von mindestens 6-stündiger Dauer bevorzugt an die Hochdruckbrücken über Mitteleuropa (BM) sowie an die

abgeschlossenen Hochdruckgebiete über Mitteleuropa (HM) gebunden. Auf die mittlere Gesamthäufigkeit beider Großwetterlagen BM und HM bezogen (annähernd 44 Tage jährlich) sind es aber beispielsweise in List/Sylt nur 9 bis 10, in Hannover-Langenhagen 34 bis 35 und auf der Wasserkuppe ca. 21 Tage, an denen überhaupt eine Flautenperiode von mindestens 6 Stunden Dauer auftritt. An den übrigen Tagen sind lediglich kürzere Flautenabschnitte zu erwarten (Tab. 2 und 4).

In weiten Teilen des mittleren und südlichen Deutschlands verlagert sich das Häufigkeitsmaximum dieser Flautenperioden von mindestens 6-stündiger Dauer jedoch schon auf die zyklonalen Westlagen (WZ), d.h. in deren Ablauf machen sich nach [3] dort schon verstärkt Zwischenhocheinflüsse bzw. Vorstöße von Ausläufern des Azorenhochs bemerkbar und schwächen im Verbund mit orographischen Effekten das bodennahe Windfeld ab. Ein sekundäres Maximum tritt bei den Hochdruckbrücken (BM) auf (Tab. 4).

Ähnliche Aussagen lassen sich gemäß Tabellen 2 bis 4 auch für Flautenperioden von mindestens 12 bzw. 24 Stunden herleiten; diese sind aber insbesondere innerhalb der Zone I der Windkraftnutzung (siehe auch Abb. 30 in [1]) doch bereits recht selten.

Die Korrelation der Flautenperioden von mindestens 6-, 12- und 24-stündiger Dauer mit den Großwetterlagen zeigt somit u.a., daß

1. Flauten von längerer Dauer zwar bei bestimmten Großwetterlagen bevorzugt auftreten, sich aber bei gleicher Großwetterlage bereits Unterschiede zwischen dem nördlichen, mittleren und südlichen Deutschland bemerkbar machen und auf regionale Witterungsverläufe hinweisen,
2. die Großwetterlagen selbst kein hinreichendes Indiz für längere Flautenabschnitte liefern,
3. das bloße Erkennen bzw. Auftreten einer Großwetterlage für die Vorhersage von Flautenfeldern nicht geeignet ist.

Darüber hinaus unterliegen Einzelwetterlagen selbst des gleichen Zirkulationstyps in ihrem räumlichen Ablauf größeren Schwankungen, die es u.a. wegen der Kürze der Zeitreihe nicht gestatten, eine raum-zeitliche Verlagerung von Flautenfeldern über das Gesamtgebiet oder über Teilgebiete der Bundesrepublik Deutschland hinweg eindeutig und zugbahnähnlich darzustellen.

3.2 Windgeschwindigkeiten von mindestens 5, 8 und 12 m/s

3.2.1 Mittlere jährliche Anzahl der Stunden in %

Die räumliche Verteilung der mittleren jährlichen Zahl der Stunden mit Windgeschwindigkeiten von mindestens 5, 8 und 12 m/s ist in [1] bereits jeweils kartennmäßig dargestellt und interpretiert, auf sie wird daher nicht mehr näher eingegangen, um Wiederholungen zu vermeiden.

3.2.2 Mittlere monatliche Anzahl der Stunden in %

Die mittleren relativen Häufigkeitsanteile von Windgeschwindigkeiten ≥ 5 und ≥ 8 m/s (Abb. 4 und 5) verlaufen in ihrem Jahresgang etwa parallel zum mittleren Jahresgang der Windgeschwindigkeit (siehe auch Abb. 3 bis 6 in [1]). Die entsprechenden Häufigkeitsanteile von Windgeschwindigkeiten ≥ 12 m/s zeigen aber nur noch im Küstenbereich sowie in höheren Lagen des Binnenlandes ausgeprägte Tagesgänge (Abb. 6). An der Mehrzahl der Stationen ist die durchschnittliche Anzahl der Stunden mit einer Windgeschwindigkeit von mindestens 12 m/s in den Einzelmonaten bereits so gering, daß der mittlere Jahresgang keine merklichen Strukturen mehr erkennen läßt.

3.2.3 Mittlerer Tagesgang

Die mittleren jährlichen Tagesgänge der Windgeschwindigkeitsschwellenwerte ≥ 5 , ≥ 8 , ≥ 12 m/s sind als prozentuale Anteile der jeweiligen Einzelstunden des Tages in Abbildung 7 dargestellt. Sie korrespondieren jeweils annähernd mit dem Niederungs-, Übergangs- oder Höhentyp des mittleren Tagesganges der Windgeschwindigkeit, wie er in [1] beschrieben ist.

Die mittlere Amplitude dieser relativen Häufigkeitsanteile ist jedoch recht unterschiedlich und nimmt vor allem im Binnenland mit zunehmender Windgeschwindigkeit und zugleich abnehmender relativer Häufigkeit ab. Bei Windgeschwindigkeiten von 12 m/s und mehr ist sie nur noch im Küstenbereich sowie in Berglagen merklich von Null verschieden (Abb. 7 und 8).

4 VERTEILUNG DER BRUTTOJAHRESENERGIE AUF VOR-GEGEBENE WINDGESCHWINDIGKEITSINTERVALLE

Die kinetische Energie E , die in der Zeit t durch eine senkrecht zur Bewegungsrichtung (Windrichtung) stehende Fläche transportiert wird, berechnet sich bekanntlich nach der Formel

$$E = \frac{\rho \cdot A}{2} K \cdot v^3 \cdot t \quad (1)$$

E = kinetische Energie (Wh)

ρ = Luftdichte in etwa 10 m über Grund
(= 1.275 kg/m³)

A = Rotorfläche (m²)

K = Wirkungsgrad des Windenergiekonverters

v = Windgeschwindigkeit (m/s)

t = Zeitdauer (h)

Da der Wirkungsgrad eines Windenergiekonverters nach [4] und [5] höchstens 0.5926 beträgt, ist die aus dem Windfeld zu gewinnende Energiemenge beträchtlich geringer als das tatsächliche Angebot.

Bei der Berechnung der Bruttojahresenergie aus den vorliegenden Stundenmitteln der Windgeschwindigkeit werden analog zu [1] die Faktoren A und K gleich 1 gesetzt. Zugleich ist zu beachten, daß die mittleren jährlichen Häufigkeitsverteilungen für Windgeschwindigkeitsklassen von 1 m/s als Ausgangswerte (Tab. 5) geringfügige Abweichungen gegenüber den in [1] publizierten mittleren jährlichen Häufigkeiten aufweisen, was durch die feinere Aufteilung des Gesamtkollektivs und damit zusammenhängende Rundungen bedingt ist.

Vergleicht man die mittleren Häufigkeitsverteilungen mit den daraus berechneten Verteilungen der Bruttojahresenergie, so wird ersichtlich, daß nur ein häufigeres Auftreten höherer Windgeschwindigkeiten nennenswerte Energiebeiträge liefern kann (Tab. 6).

In der Zone I der Windkraftnutzung (siehe auch Abb. 30 in [1]) treten in Aufstellungshöhe der Anemometer durchschnittliche Bruttojahresenergien von etwa 3300 bis 4100 KWh im unmittelbaren Insel- und Küstenbereich sowie zwischen etwa 1700 und 2800 KWh in exponierteren Höhenlagen auf. In letzteren können lokale Effekte jedoch zu weitaus höheren Bruttojahresenergien führen, wie beispielsweise die Station Feldberg/Schw. mit rund 7000 KWh zeigt. Die Prallhangwirkung führt dort in Aufstellungshöhe des Anemometers zu Bodenwindgeschwindigkeiten, die zuweilen höher sind als der geostrophische Wind; sie verliert sich jedoch mit zunehmender Höhe über Grund.

Mit Übergang von Zone I zu Zone II geht die durchschnittliche Bruttojahresenergie rasch auf Werte um 1000 KWh und weniger zurück. In der Eignungszone III erreicht sie aufgrund der geringen Häufigkeit hoher Windgeschwindigkeiten im Mittel nur noch Beträge zwischen 35 KWh (Garmisch-Partenkirchen) und 650 KWh (Hof-Hohensaas) (Tab. 6).

Die hier angegebenen Zahlenwerte sind zweifellos eine noch recht grobe Abschätzung des

Energieangebotes, da seine Berechnung bekanntlich auf den Stundenmitteln der Windgeschwindigkeit beruht. Die vorhandenen Fluktuationen der Windgeschwindigkeit, die durch die Mittelbildung eliminiert sind, führen in Wirklichkeit zu einem leicht höheren Energieangebot, das im einzelnen aber kaum abschätzbar ist [6].

Innerhalb der vorgegebenen Windgeschwindigkeitsklassen selbst fällt das Maximum der durchschnittlichen Bruttojahresenergie - wenn man von Küsten- und Bergstationen absieht - meist auf die vier Intervallbereiche zwischen 5.0 und 8.9 m/s (Tab. 6); dies entspricht aber gerade dem Anlaufbereich größerer Windkraftanlagen.

Eine zuverlässige Abschätzung des bereits auf Windgeschwindigkeitsklassen verteilten Energieangebots für die jeweiligen Nabenhöhen größerer Windkraftanlagen ist im Binnenland ohne einen Rückgriff auf Mastmessungen nicht möglich, da dort wegen unterschiedlicher Bodenrauigkeit, wegen variabler thermischer Schichtung und wegen des unterschiedlichen Verlaufs der Tagesgänge der Windgeschwindigkeit (Niederungs-, Übergangs-, Höhentyp) weder das Potenzgesetz [7] noch das von MANIER und BENESCH [8] entwickelte Verfahren die voraussetzende Umrechnung der einzelnen Stundenmittelwerte aus der Anemometerhöhe in beliebige Höhen über Grund gestattet. Für Pauschalabschätzungen stehen somit nur die Jahresmittelwerte der Windgeschwindigkeit in ausgewählten Höhen über Grund zur Verfügung (siehe auch Tab. 2 in [1]), wobei die derart hergeleiteten durchschnittlichen Energiewerte durchaus unterschätzt sein können.

5 VERBUND ZWEIER WINDKRAFTANLAGEN

5.1 Vorbemerkung

Zwecks Untersuchung des Betriebs von Windkraftanlagen im Verbund (Zweierverbund) werden zunächst unter Berücksichtigung der Windge-

schwindigkeitszonenkarte (siehe auch Abb. 30 in [1]) fünf Basisstationen ausgewählt:

Hallig Hooge (Zone I/Küstenbereich)

Hannover-Langenhagen (Zone II)

Emden (Zone II/Stadtrandlage)

Kl. Feldberg/Ts. (Zone II/Höhenlage)

München-Riem (Zone III)

Das Datenkollektiv dieser Stationen (wiederum Stundenmittel der Windgeschwindigkeit) wird in folgende fünf Windgeschwindigkeitsintervalle aufgeteilt, die sich an üblichen Grenzwerten der Windkraftnutzung orientieren:

Intervall 1: 0.0 bis 2.9 m/s (Flauten)

Intervall 2: 3.0 bis 4.9 m/s (Anlaufbereich kleinerer Windkraftanlagen)

Intervall 3: 5.0 bis 7.9 m/s (Anlaufbereich größerer Windkraftanlagen)

Intervall 4: 8.0 bis 11.9 m/s (Teilleistungsbereich größerer Windkraftanlagen)

Intervall 5: ≥ 12.0 m/s (Nennleistungsbereich größerer Windkraftanlagen)

Die so vorgegebenen Intervalle der Basisstationen (B) werden mit gleichen, zeitlich korrespondierenden Windgeschwindigkeitsintervallen der Sekundärstationen (S) verglichen. Es ergeben sich pro Stationspaar Basisstation/Sekundärstation (BS) zunächst 25 verschiedene Intervallkombinationen, für die sich ihrerseits mittlere jährliche Häufigkeitsverteilungen in Promille ermitteln lassen. Die Darstellung der relativen Häufigkeiten in Promille der Gesamtjahresstunden ($\cong 8760$ Stunden) wird mit Absicht gewählt, um auf die oftmals nur geringen Häufigkeitsanteile aufmerksam zu machen, die einzelnen Intervallkombinationen zukommen.

Nachstehende Intervallkombinationen werden dabei als Auswahl besonders herausgestellt:

B1S1: an Basis- und Sekundärstation gleichzeitig Flauten,

B3S3: Basis- und Sekundärstation gleichzeitig im Anlaufbereich,

B4S4: Basis- und Sekundärstation gleichzeitig im Teilleistungsbereich,

B5S5: Basis- und Sekundärstation gleichzeitig im Nennleistungsbereich,

B1S4: an Basisstation Flaute, an Sekundärstation Teilleistungsbereich,

B1S5: an Basisstation Flaute, an Sekundärstation Nennleistungsbereich,

B3S4: an Basisstation Anlaufbereich, an Sekundärstation Teilleistungsbereich,

B3S5: an Basisstation Anlaufbereich, an Sekundärstation Nennleistungsbereich,

B4S5: an Basisstation Teilleistungsbereich, an Sekundärstation Nennleistungsbereich,

B5S1: an Basisstation Nennleistungsbereich, an Sekundärstation Flaute.

Diese zehn Klassenkombinationen berücksichtigen zwar - wie schon angemerkt - die Auslegungsdaten größerer Windkraftanlagen wie etwa den GROWIAN-Typ [9], beziehen sich dabei aber nur auf die Aufstellungshöhen der Anemometer.

Einen Überblick über die in der Gesamtverteilung eigentlich häufigsten Intervallkombinationen vermittelt Tabelle 7, sie sind in der Regel aber für die Windkraftnutzung von untergeordneter Bedeutung (siehe auch Tab. 6).

Die Entfernungen zwischen der Basisstation und den jeweiligen Sekundärstationen sind in Kilometer (Luftlinie) angegeben. Zugleich wird bei den folgenden Betrachtungen der Standort des Anemometers hypothetisch als Standort einer Windkraftanlage angesehen.

5.2 Basisstation Hallig Hooge

Die Basisstation Hallig Hooge liegt innerhalb der Zone I und besitzt im Jahresdurchschnitt mit 108 % ($\cong 946$ Stunden) einen recht geringen Anteil an Flauten, mit 397 % ($\cong 3478$ Stunden) einen recht hohen Anteil an Windgeschwindigkeiten von 8 m/s und mehr sowie mit 119 % ($\cong 1042$ Stunden) einen vergleichsweise hohen Anteil an Windgeschwindigkeiten von 12 m/s und mehr (Tab. 5).

Geht man zunächst von den Windgeschwindigkeiten ≥ 12 m/s aus, so wird die Intervallkombination B5S5 nur an näher gelegenen Sekundärstationen wie List/Sylt, Büsum, St. Peter noch mit einer mittleren jährlichen Häufigkeit von etwas über 70 % erreicht, d.h. nur an etwas mehr als 613 Jahresstunden treten im Durchschnitt sowohl an der Basisstation als auch an der jeweils genannten Sekundärstation gleichzeitig und gemeinsam Windgeschwindigkeiten im Nennleistungsbereich auf (Tab. 8). An 429 Jahresstunden befindet sich aber nur noch die Hallig Hooge im Nennleistungsbereich, während an den anderen Sekundärstationen die Windgeschwindigkeiten durchschnittlich schon niedriger liegen (Tab. 5 und 8).

Mit wachsender Entfernung von der Basisstation nimmt aber auch im Küstenbereich (Norderney, Westermarkelsdorf) die mittlere jährliche Häufigkeit der Intervallkombination B5S5 ab und geht auf 60 bis 40 % (\cong 526 bis 350 Jahresstunden) zurück. In einer gleichen Größenordnung bewegt sich auch ihr mittlerer jährlicher Häufigkeitsanteil gegenüber sehr exponierten Bergstationen des Binnenlandes, die der Zone I zuzuordnen sind. In weniger exponierten Lagen tritt der Nennleistungsfall B5S5 noch seltener oder sogar überhaupt nicht mehr auf (Tab. 8).

Demgegenüber stellen die Klassenkombinationen B1S4 (an Basisstation Flaute, an Sekundärstation Teilleistungsbereich) und B1S5 (an Basisstation Flaute, an Sekundärstation Nennleistungsbereich) in ihrer räumlichen Verteilung über die Zonen I bis III der Windkraftnutzung hinweg bereits Ausnahmefälle dar, die selbst innerhalb der Zone I nur mit sehr geringen mittleren Häufigkeitsanteilen vorkommen (Tab. 9). Bei Flauten im Küstenbereich gibt es auch im Binnenland keine Standorte, die alternativ einen nennenswerten Anteil an Windenergie im Teil- oder Nennleistungsbereich anbieten.

5.3 Basisstation Emden

Die Basisstation Emden repräsentiert eine Siedlungsrandlage innerhalb der Zone II der Windkraftnutzung.

Ihr durchschnittlicher Flautenanteil beträgt 371 % (\cong 3250 Jahresstunden), die mittlere jährliche Anzahl der Stunden mit einer Windgeschwindigkeit von 8 m/s und mehr umfaßt 56 % (\cong 491 Jahresstunden), von 12 m/s und mehr 13 % (\cong 114 Jahresstunden) (Tab. 5).

Der mittlere jährliche Häufigkeitsanteil der Klassenkombination B1S1 (an Basis- und Sekundärstation gleichzeitig Flauten) liegt nur für Sekundärstationen innerhalb der Zone I unter 100 % (\cong 876 Jahresstunden), d.h. an den restlichen 2374 Flautenstunden der Basisstation Emden weisen diese Sekundärstationen höhere Windgeschwindigkeiten auf. Für Sekundärstationen innerhalb der Zonen II und III erreicht die gleiche Klassenkombination eine größere Häufigkeit bis zu einem Maximum von 355 % (\cong 3110 Jahresstunden) in Garmisch-Partenkirchen (Tab. 10).

Liegen in Emden die Windgeschwindigkeitswerte im Anlaufbereich, so herrschen nur an Sekundärstationen der Zone I zu 20 bis 65 % aller Jahresstunden (\cong 175 bis 569 Jahresstunden) die Windgeschwindigkeiten im Nennleistungsbereich (Klassenkombination B3S5). Der durchschnittliche Anteil der Klassenkombinationen B1S4 und B1S5 unterschreitet oftmals schon die 10 %-Grenze (\cong 88 Jahresstunden) (Tab. 11).

5.4 Basisstation Hannover-Langenhagen

Die Basisstation Hannover-Langenhagen verzeichnet innerhalb der Zone II der Windkraftnutzung mit 362 % (\cong 3171 Jahresstunden) einen durchschnittlich etwas geringeren Flautenanteil als Emden, dagegen sind die Windgeschwindigkeiten von mindestens 12 m/s mit etwa 26 Jahresstunden (\cong 3 %) seltener anzutreffen (Tab. 5).

Flauten, die zeitsynchron an dieser Basisstation und an den jeweiligen Sekundärstationen auftreten (Klassenkombination B1S1), besitzen lediglich für die Zone I einen mittleren Häufigkeitsanteil von weniger als 100 % (\cong 876 Jahresstunden). In den restlichen 2295 Flautenstunden der Basisstation herrschen an den Sekundärstationen der Zone I höhere Windgeschwindigkeiten; die Klassenkombinationen B1S4 und B1S5 bleiben aber im wesentlichen unter 50 bzw. 12 % (\cong 438 bzw. 105 Stunden im Jahresdurchschnitt). Eine Ausnahme stellt - wie übrigens auch bei der Basisstation Emden - die Sekundärstation Feldberg/Schw. dar, die aufgrund ihrer lokalen Besonderheiten (siehe auch Kap. 4) günstigere Werte aufweist, aber für andere vergleichbare Höhenlagen Mittel- und Süddeutschlands nicht vorbehaltlos repräsentativ ist.

In den Zonen II und III sind dagegen die Klassenkombinationen B1S4 und B1S5 teilweise schon nicht mehr vertreten (Tab. 12 und 13).

5.5 Basisstation Kleiner Feldberg/Ts.

An der Basisstation Kleiner Feldberg/Ts. treten die einzelnen Windgeschwindigkeitsintervalle mit folgenden relativen mittleren Häufigkeiten auf:

0.0 bis 2.9 m/s	202 %
3.0 bis 4.9 m/s	316 %
5.0 bis 7.9 m/s	373 %
8.0 bis 11.9 m/s	103 %
\geq 12.0 m/s	6 %

Da unter Einfluß des Geländerreliefs (u.a. sektorale Abschirmung durch den benachbarten Großen Feldberg/Ts.) Windgeschwindigkeiten von 8 m/s und mehr nur an durchschnittlich 955 Jahresstunden (\cong 109 %) auftreten, ist diese Basisstation - etwa im Gegensatz zur Wasserkuppe mit entsprechenden 1743 Jahresstunden - noch der Nutzungszone II zuzuordnen (Tab. 5).

Flauten an der Station Kleiner Feldberg/Ts. korrespondieren mit Flauten im Insel- bzw. Küstenbereich nur an durchschnittlich etwa 40 % der Jahresstunden (\cong 350 Stunden) (Intervallkombination B1S1); an den im Durchschnitt verbleibenden rund 1420 Flautenstunden der Basisstation treten an diesen betreffenden Sekundärstationen zwar schon höhere Windgeschwindigkeiten auf, die Intervallkombinationen B1S4 bzw. B1S5 bleiben im Jahresmittel mit höchstens 45 % (\cong 394 Jahresstunden) jedoch in begrenzten Größenordnungen (Tab. 7, 14 und 15).

Selbst gegenüber einer näher gelegenen Sekundärstation wie der Wasserkuppe erreicht die mittlere jährliche Häufigkeit gleichzeitiger Flauten 104 % (\cong 911 Jahresstunden). Gleichzeitig höhere Windgeschwindigkeiten an der Wasserkuppe, die etwa im Teilleistungsbereich liegen (Klassenkombination B1S4) kommen durchschnittlich nur an 18 Jahresstunden (\cong 2 %) vor, die Klassenkombination B1S5 ist überhaupt nicht mehr belegt. Häufigste Intervallkombination dieser beiden Stationen ist B3S3 (Basis- und Sekundärstation im Anlaufbereich) mit einem Jahresdurchschnitt von 160 % (\cong 1402 Jahresstunden). Werden die übrigen Bergstationen für einen Verbund mit dem Kleinen Feldberg/Ts. herangezogen, so können die flautenbedingten Ausfallzeiten im Jahresmittel zwar auf unter 95 % (\cong 832 % Stunden) reduziert werden (B1S1). Gleichzeitig auftretende Windgeschwindigkeiten im Teil- und Nennleistungsbereich erreichen aber nur gegenüber dem lokal beeinflussten Feldberg/Schw. 394 Stunden pro Jahr (\cong 45 %).

Noch ungünstiger werden die Ergebnisse bei Sekundärstationen in niedrigerer Seehöhe wie etwa Geisenheim oder Gießen (Liebigsh.), die zwar weniger als 50 km von der Basisstation entfernt, aber windabgeschirmt sind (Tab. 7, 14 und 15).

5.6 Basisstation München-Riem

Die Basisstation München-Riem gehört zur Zone III der Windkraftnutzung.

Ihre mittlere jährliche Flautenhäufigkeit liegt bei 580 % (\approx 5083 Jahresstunden), Windgeschwindigkeiten von 12 m/s und mehr sind selten (6 % \approx 53 Stunden pro Jahr) (Tab. 5).

In Verbindung mit den Sekundärstationen schwankt die häufigste Intervallkombination B1S1 etwa zwischen 210 und 560 % (\approx 1840 bis 4906 Jahresstunden), nur gegenüber dem Küstenbereich geht ihr durchschnittlicher Häufigkeitsanteil auf unter 80 % (\approx 701 Jahresstunden) zurück. An den restlichen rund 4382 Flautenstunden der Basisstation treten im Küstenbereich selbst zwar höhere Windgeschwindigkeiten auf, das Maximum fällt aber in die Windgeschwindigkeitskombinationen B1S2 und B2S3 (Tab. 7, 16 und 17).

5.7 Folgerungen

Ein Verbund von Windkraftanlagen (Zweierverbund) bietet sich lediglich innerhalb des Küstenbereichs der Zone I an; hier kann aber infolge einer doch recht ausgeprägten raumzeitlichen Ausgeglichenheit des Windfeldes mit einem vielfach zeitsynchronen Auftreten von Flauten bzw. von Starkwind- oder Sturmfeldern gerechnet werden, so daß Windkraftanlagen durchaus autonom betrieben werden können.

Dagegen sind innerhalb des Binnenlandes - von sehr wenigen exponierten Berglagen abgesehen - die zeitsynchronen Windgeschwindigkeitsunterschiede zwischen einzelnen Standorten und Arealen nicht so geartet, daß etwa Ausfallzeiten gegenseitig kompensiert werden. Dies gilt sowohl für Standorte in ähnlicher als auch in unterschiedlicher Seehöhe. Zudem tritt auch die räumliche Entfernung zwischen einer Basis- und einer Sekundärstation als Zusatzkriterium gegenüber lokalklimatischen Besonderheiten in den Hintergrund.

6 VERBUND DREIER WINDKRAFTANLAGEN

6.1 Vorbemerkung

Im Gegensatz zur Untersuchung des Zweierverbundes von Windkraftanlagen werden beim Dreierverbund zwei Basisstationen vorgegeben. Somit wird jeder, in Kapitel 5.1 bereits genannten Basisstation noch eine weitere, als geeignet befundene Basisstation zugeordnet. Für dieses Stationspaar werden dann mit den verbleibenden Sekundärstationen (S) die Korrelationsberechnungen durchgeführt. Die Basisstationen selbst sind nachstehend mit A und B gekennzeichnet. Die Unterteilung der Datenkollektive in fünf Windgeschwindigkeitsintervalle bleibt mit den bisherigen Grenzwerten erhalten. Die den einzelnen Intervallkombinationen zukommenden relativen jährlichen Häufigkeiten sind wiederum in Promille angegeben und beziehen sich auf die Anemometerhöhe der jeweiligen Station. Zur Erläuterung der zehn ausgewählten Intervallkombinationen dienen folgende Beispiele:

A1B1S1: an beiden Basisstationen A und B sowie an der Sekundärstation S gleichzeitig Flauten,

A4B4S1: an beiden Basisstationen A und B jeweils Teilleistungsbereich, an Sekundärstation S Flaute,

A5B5S5: an beiden Basisstationen A und B sowie an der Sekundärstation S gleichzeitig Nennleistungsbereich.

6.2 Basisstationen Hallig Hooge (A) und List/Sylt (B)

Hallig Hooge und List/Sylt sind beides Stationen innerhalb der Zone I der Windkraftnutzung und verzeichnen an durchschnittlich 508 Stunden pro Jahr (\approx 58 %) gleichzeitig Flauten und an rund 657 Stunden pro Jahr (\approx 75 %) gleichzeitig Windgeschwindigkeiten von 12 m/s und mehr (Tab. 8). Eine Reduzierung zeitsynchron auftretender Flauten (Klassenkombination A1B1S1) läßt sich noch am ehesten mit höher

und exponierter gelegenen Stationen des Binnenlandes erzielen, die mittleren Häufigkeitsanteile betragen 20 % und weniger (\cong 175 Jahresstunden und weniger). Während bestimmte Klassenkombinationen wie A1B4S4, A1B5S5 oder A4B1S5, A5B1S1 überhaupt nicht belegt sind, tritt die günstige Kombination A5B5S5 (an beiden Basisstationen und an der Sekundärstation Nennleistungsbereich) mit bis zu durchschnittlich 54 % (\cong 473 Jahresstunden) bevorzugt im Küstenbereich (Büsum, St. Peter, Norderney) auf (Tab. 18 und 19).

6.3 Basisstationen Hallig Hooge (A) und Kahler Asten (B)

Hallig Hooge und Kahler Asten stellen eine Basiskombination dar, die u.a. nur an durchschnittlich 210 Stunden im Jahr (\cong 24 %) gleichzeitig Flauten aufweist (Tab. 8).

Durch Zuziehen einiger weniger Sekundärstationen in exponierterer Lage läßt sich zwar dieser gemeinsame Flautenanteil auf rund 10 % (\cong 88 Stunden) im Jahresmittel reduzieren (Klassenkombination A1B1S1), aber diese Sekundärstationen vermögen keinen nennenswerten Ausgleich über Windgeschwindigkeiten im Teilleistungs- oder Nennleistungsbereich zu erbringen (siehe auch relative Häufigkeit der Intervallkombinationen A1B1S5, A1B5S5, A4B1S5) (Tab. 20 und 21).

6.4 Basisstationen Emden (A) und Helgoland (B)

Zur Untersuchung mittlerer Häufigkeiten von ausgewählten Klassenkombinationen auf der Basis einer Station in Stadtrandlage der Zone II und einer, dem Küstenraum weiter vorgelagerten Inselstation werden Emden (A) und Helgoland (B) herangezogen.

Im Zweierverbund hat Emden mit Helgoland einen gemeinsamen Flautenanteil von durchschnittlich 718 Jahresstunden (\cong 82 %), Windgeschwindig-

keiten von 12 m/s und mehr treten im Jahresmittel gleichzeitig an 76 Stunden (\cong 8 %) auf, was etwa der Korrelation mit Hallig Hooge entspricht (Tab. 10). Werden Sekundärstationen des Küstenbereichs in einen Dreierverbund aufgenommen, so reduziert sich dort der gemeinsame mittlere Flautenanteil (Klassenkombination A1B1S1) auf günstigenfalls 30 % (\cong 263 Jahresstunden), gegenüber den Bergstationen des Binnenlandes wird dieser Wert allerdings noch unterschritten (Tab. 22). Zeitsynchrone, hohe Windgeschwindigkeiten etwa im Teilleistungs- oder Nennleistungsbereich (A4B4S4, A5B5S5) sind aber mit einem mittleren Häufigkeitsanteil von maximal 11 bzw. 7 % relativ selten (Tab. 23).

6.5 Basisstationen Hannover-Langenhagen (A) und Kahler Asten (B)

Beide Stationen haben im Jahresdurchschnitt einen zeitgleichen Flautenanteil von 692 Stunden (\cong 79 %), korrespondierende Windgeschwindigkeiten im Nennleistungsbereich sind mit durchschnittlich 18 Jahresstunden (\cong 2 %) selten (Tab. 12). Der mittlere Häufigkeitsanteil gemeinsamer Flauten bei Einbezug von Sekundärstationen (Intervallkombination A1B1S1) geht nur innerhalb des Küstenbereiches der Zone I auf unter 20 % (\cong 175 Stunden) zurück, dieser Rückgang erfolgt jedoch nicht zugunsten von Intervallkombinationen, die für eine Windkraftnutzung im Verbund geeignet erscheinen (Tab. 24 und 25).

6.6 Basisstationen Kleiner Feldberg/Ts. (A) und Wasserkuppe (B)

Die beiden Basisstationen A und B haben einen fast gleichen Anteil an niedrigen Windgeschwindigkeiten bis etwa 4 m/s, Windgeschwindigkeiten von 8 m/s und mehr treten aber an der Wasserkuppe doppelt so oft auf wie am Kleinen Feldberg/Ts. (Tab. 5). Im Zweierverbund verzeichnen die Stationen an durch-

schnittlich 911 Stunden pro Jahr ($\approx 104\%$) gleichzeitig Flauten und an 350 Stunden pro Jahr ($\approx 40\%$) gleichzeitig Windgeschwindigkeiten im Teilleistungsbereich (Tab. 14). Bei Einbezug von Sekundärstationen verringern sich beispielsweise sowohl der mittlere jährliche Anteil gemeinsamer Flauten (Intervallkombination A1B1S1) als auch der mittlere jährliche Anteil von Windgeschwindigkeiten im Teilleistungsbereich (Intervallkombination A4B4S4). Demgegenüber steht jedoch kein Anstieg innerhalb von Intervallkombinationen wie A1B1S5 oder A4B1S5 (Tab. 26 und 27).

6.7 Basisstationen München-Riem (A) und Wendelstein (B)

Die Basisstationen, die nur rund 55 km Luftlinie voneinander entfernt liegen, besitzen einen gemeinsamen Flautenanteil von durchschnittlich 212 % (≈ 1857 Jahresstunden) (Tab. 16).

Wie die durchschnittliche Häufigkeit der Intervallkombination A1B1S1 zeigt, läßt sich der gemeinsame Flautenanteil besonders gegenüber dem Küstenbereich der Zone I bis auf durchschnittlich 21 % (≈ 184 Jahresstunden) verringern, ohne daß sich aber ein merklicher Anstieg der Intervallkombinationen abzeichnet, die einen Verbundnetzbetrieb rechtfertigen (Tab. 28 und 29).

6.8 Folgerungen

Für den Dreierverbund gelten analog die Ausführungen des Kapitels 5.7.

7 ERGEBNISÜBERSICHT

1. Aus Gründen der Vergleichbarkeit mit [1] werden für diese Untersuchung nur Windgeschwindigkeitskollektive des Zeitraumes 1969 bis 1974 herangezogen. Die Zahl

der Stationen wird auf 59 begrenzt, wobei als Auswahlkriterium die annähernd gleiche Aufstellungshöhe der Anemometer herangezogen wird. Es wird jedoch zugleich beachtet, daß die drei Eigenschaftszonen der Windkraftnutzung (siehe auch Abb. 30 in [1]) durch die Stationswahl noch hinreichend belegt sind.

2. Die relativen mittleren Jahres- und Tagesgänge der Flautenhäufigkeit zeigen im wesentlichen spiegelbildliche Verläufe gegenüber den mittleren Jahres- und Tagesgängen der Windgeschwindigkeit, wie sie in [1] dargestellt sind.
3. Die Abhängigkeit länger anhaltender, täglicher Flautenperioden von den Großwetterlagen nach HESS und BREZOWSKY [3] ergibt regionale Unterschiede, die auf deren Modifikation durch Kontinentalität und Geländere relief zurückgeführt werden können.
4. Das einfache Erkennen einer Großwetterlage liefert kein hinreichendes Indiz für die Andauer von Flautenabschnitten (auch für die Andauer von Perioden mit nutzbarem Starkwind); für derartig prognostische Zwecke sind die Großwetterlagen nicht heranziehbar. Sie sind somit auch kein Ersatz für spezielle, betriebsorientierte Windvorhersagen im Einzelfall.
5. Die mittleren relativen Jahresgänge von Windgeschwindigkeiten ≥ 5 , ≥ 8 und ≥ 12 m/s verlaufen in etwa parallel zum mittleren Jahresgang der Windgeschwindigkeit. An der Mehrzahl der Stationen - insbesondere im Binnenland - läßt sich jedoch für den Schwellenwert ≥ 12 m/s keine ausgeprägtere Jahresschwankung mehr erkennen. Die mittleren relativen Tagesgänge o.g. Schwellenwerte korrespondieren wiederum jeweils mit dem Niederungs-, Höhen- oder Übergangstyp des

mittleren Tagesganges der Windgeschwindigkeit, wie er in [1] beschrieben ist. Die mittleren relativen Jahres- und Tagesgänge von Flauten haben hingegen einen zu diesen Ganglinien inversen Verlauf.

6. Die Berechnung der Bruttojahresenergien ergibt räumliche Unterschiede: in der Zone I ist im küstennahen Bereich mit durchschnittlichen Bruttojahresenergien bis zu 4100 KWh, in der Zone III dagegen nur bis zu 650 KWh zu rechnen. Derartige Werte gelten zunächst für die Aufstellungshöhen der Anemometer. Für beliebige Höhen über Grund sind entsprechende Energieabschätzungen im Binnenland derzeit nur pauschal über die Jahresmittelwerte der Windgeschwindigkeit vorzunehmen [1].

7. Der Verbund ist für Standorte und Areale außerhalb der Zone I d.h. im Binnenland allgemein, wenig erfolgversprechend. Diese Aussage, die sich auf die vorliegenden stündlichen Mittelwerte der Windgeschwindigkeit stützt, gilt streng genommen nur für die Aufstellungshöhen der Anemometer, die in Tabelle 1 angegeben sind. Sie muß vorerst im Binnenland auch als qualitativ gültig für den Höhenbereich größerer Windkraftanlagen angesehen werden, zumal:

- a) es nicht möglich ist, die einzelnen Stundenmittel der Windgeschwindigkeit für Korrelationsbetrachtungen aus der vorgegebenen Aufstellungshöhe der Anemometer jeweils in ausgewählte Höhen über Grund (50 m bzw. 100 m über Grund) rechnerisch zu extrapolieren,
- b) aus dem mittel- und süddeutschen Raum hierzu notwendige, annähernd flächendeckende und zeitlich vergleichbare Mastmessungen nicht oder nicht zweckentsprechend aufbereitet vorliegen,
- c) auch das Netz der Aerologischen Stationen des Deutschen Wetterdienstes mit routinemäßigen Radarwindmessungen in der bodennahen Grenzschicht keine verwertbaren Datenkollektive liefert.

8. Innerhalb der Zone I bringt ein Verbundbetrieb wegen der raum-zeitlichen Homogenität des Windfeldes keine besonderen Vorteile.

8 LITERATUR

- [1] BENESCH, W.; DUENSING, G.; JURKSCH, G.; ZÖLLNER, W.: Die Windverhältnisse in der Bundesrepublik Deutschland im Hinblick auf die Nutzung der Windkraft. Ber. Dt. Wetterd. Nr. 147 (1976)
- [2] CAPPEL, A.; EMMRICH, P.: Zwei Wetterkatastrophen des Jahres 1972: Der Niedersachsen-Orkan und das Gewitterunwetter von Stuttgart. Ber. Dt. Wetterd. Nr. 135 Bd 17 (1975)
- [3] HESS, P.; BREZOWSKY, H.: Katalog der Großwetterlagen Europas (1881-1976). Ber. Dt. Wetterd. Nr. 113 (1977)
- [4] BETZ, A.: Wind-Energie und ihre Ausnutzung durch Windmühlen. Verlag Vandenhoeck u. Ruprecht, 1926
- [5] ROTH, R.: Zur Fehlerabschätzung bei der Vermessung des Leistungsbeiwertes von Windenergiekonvertern. Wiss. Ber. des Meteor. Inst. der Universität Karlsruhe, Nr. 4 (1983)
- [6] SIVASEGARAM, S.: Transient Behaviour of Wind Energy Systems. Windengineering, Vol. 4, No. 2 (1980)
- [7] WMO: Meteorological Aspects of the Utilisation of Wind as an Energy Source. Technical Note Nr. 175 (1981)
- [8] MANIER, G.; BENESCH, W.: Häufigkeitsverteilungen der Windgeschwindigkeit bis 250 m Höhe für die Bundesrepublik Deutschland. Meteor. Rdsch. Nr. 25 (1972)
- [9] WINDHEIM, R.: Nutzung der Windenergie. Kernforschungsanlage Jülich GmbH, Projektleitung Energieforschung (1980)

Anhang zu Teil III: Tabellen und Abbildungen

- Tab. 1: Ausgewählte Stationen mit Windregistrierungen im Zeitraum 1969 bis 1974
- Tab. 2: Mittlere jährliche Anzahl der Tage mit einer Flautendauer von mindestens N Stunden. Zeitraum 1969 bis 1974
- Tab. 3: Verzeichnis der Großwetterlagen nach HESS-BREZOWSKY und ihre mittlere jährliche Häufigkeit (%) (während des Zeitraumes 1969 bis 1974)
- Tab. 4: Mittlere jährliche Anzahl der Tage mit Flautenperioden von mindestens N Stunden in Abhängigkeit von den Großwetterlagen (GWL). Zeitraum 1969 bis 1974
- Tab. 5: Mittlere jährliche Häufigkeit der Windgeschwindigkeit für die jeweiligen Aufstellungshöhen der Anemometer. Zahl der Stunden. 8760 Jahresstunden \approx 1000 ‰. Zeitraum 1969 bis 1974
- Tab. 6: Mittlere Verteilung der Bruttojahresenergie (KWh) auf die jeweiligen Windgeschwindigkeitsklassen. Zeitraum 1969 bis 1974
- Tab. 7: Häufigste Kombination der Windgeschwindigkeitsklassen zwischen Basisstation (B) und Sekundärstation (S) (mittlere jährliche Häufigkeit (‰)). Zeitraum 1969 bis 1974
- Tab. 8: Mittlere jährliche Häufigkeit (‰) von ausgewählten Kombinationen der Windgeschwindigkeitsklassen zwischen Basisstation (B) und Sekundärstation (S). Zeitraum 1969 bis 1974. Basisstation: Hallig Hooge
- Tab. 9: Mittlere jährliche Häufigkeit (‰) von ausgewählten Kombinationen der Windgeschwindigkeitsklassen zwischen Basisstation (B) und Sekundärstation (S). Zeitraum 1969 bis 1974. Basisstation: Hallig Hooge
- Tab. 10: Mittlere jährliche Häufigkeit (‰) von ausgewählten Kombinationen der Windgeschwindigkeitsklassen zwischen Basisstation (B) und Sekundärstation (S). Zeitraum 1969 bis 1974. Basisstation: Emden
- Tab. 11: Mittlere jährliche Häufigkeit (‰) von ausgewählten Kombinationen der Windgeschwindigkeitsklassen zwischen Basisstation (B) und Sekundärstation (S). Zeitraum 1969 bis 1974. Basisstation: Emden
- Tab. 12: Mittlere jährliche Häufigkeit (‰) von ausgewählten Kombinationen der Windgeschwindigkeitsklassen zwischen Basisstation (B) und Sekundärstation (S). Zeitraum 1969 bis 1974. Basisstation: Hannover-Langenhagen
- Tab. 13: Mittlere jährliche Häufigkeit (‰) von ausgewählten Kombinationen der Windgeschwindigkeitsklassen zwischen Basisstation (B) und Sekundärstation (S). Zeitraum 1969 bis 1974. Basisstation: Hannover-Langenhagen
- Tab. 14: Mittlere jährliche Häufigkeit (‰) von ausgewählten Kombinationen der Windgeschwindigkeitsklassen zwischen Basisstation (B) und Sekundärstation (S). Zeitraum 1969 bis 1974. Basisstation: Kl. Feldberg/Ts.
- Tab. 15: Mittlere jährliche Häufigkeit (‰) von ausgewählten Kombinationen der Windgeschwindigkeitsklassen zwischen Basisstation (B) und Sekundärstation (S). Zeitraum 1969 bis 1974. Basisstation: Kl. Feldberg/Ts.
- Tab. 16: Mittlere jährliche Häufigkeit (‰) von ausgewählten Kombinationen der Windgeschwindigkeitsklassen zwischen Basisstation (B) und Sekundärstation (S). Zeitraum 1969 bis 1974. Basisstation: München-Riem
- Tab. 17: Mittlere jährliche Häufigkeit (‰) von ausgewählten Kombinationen der Windgeschwindigkeitsklassen zwischen Basisstation (B) und Sekundärstation (S). Zeitraum 1969 bis 1974. Basisstation: München-Riem
- Tab. 18: Mittlere jährliche Häufigkeit (‰) von ausgewählten Kombinationen der Windgeschwindigkeitsklassen zwischen Basisstationen (A, B) und einer Sekundärstation (S). Zeitraum 1969 bis 1974.
1. Basisstation (A): Hallig Hooge 2. Basisstation (B): List/Sylt
- Tab. 19: Mittlere jährliche Häufigkeit (‰) von ausgewählten Kombinationen der Windgeschwindigkeitsklassen zwischen Basisstationen (A, B) und einer Sekundärstation (S). Zeitraum 1969 bis 1974.
1. Basisstation (A): Hallig Hooge 2. Basisstation (B): List/Sylt

- Tab. 20: Mittlere jährliche Häufigkeit (%) von ausgewählten Kombinationen der Windgeschwindigkeitsklassen zwischen Basisstationen (A, B) und einer Sekundärstation (S). Zeitraum 1969 bis 1974.
1. Basisstation (A): Hallig Hooge 2. Basisstation (B): Kahler Asten
- Tab. 21: Mittlere jährliche Häufigkeit (%) von ausgewählten Kombinationen der Windgeschwindigkeitsklassen zwischen Basisstationen (A, B) und einer Sekundärstation (S). Zeitraum 1969 bis 1974.
1. Basisstation (A): Hallig Hooge 2. Basisstation (B): Kahler Asten
- Tab. 22: Mittlere jährliche Häufigkeit (%) von ausgewählten Kombinationen der Windgeschwindigkeitsklassen zwischen Basisstationen (A, B) und einer Sekundärstation (S). Zeitraum 1969 bis 1974.
1. Basisstation (A): Emden 2. Basisstation (B): Helgoland
- Tab. 23: Mittlere jährliche Häufigkeit (%) von ausgewählten Kombinationen der Windgeschwindigkeitsklassen zwischen Basisstationen (A, B) und einer Sekundärstation (S). Zeitraum 1969 bis 1974.
1. Basisstation (A): Emden 2. Basisstation (B): Helgoland
- Tab. 24: Mittlere jährliche Häufigkeit (%) von ausgewählten Kombinationen der Windgeschwindigkeitsklassen zwischen Basisstationen (A, B) und einer Sekundärstation (S). Zeitraum 1969 bis 1974.
1. Basisstation (A): Hannover-Langenhagen 2. Basisstation (B): Kahler Asten
- Tab. 25: Mittlere jährliche Häufigkeit (%) von ausgewählten Kombinationen der Windgeschwindigkeitsklassen zwischen Basisstationen (A, B) und einer Sekundärstation (S). Zeitraum 1969 bis 1974.
1. Basisstation (A): Hannover-Langenhagen 2. Basisstation (B): Kahler Asten
- Tab. 26: Mittlere jährliche Häufigkeit (%) von ausgewählten Kombinationen der Windgeschwindigkeitsklassen zwischen Basisstationen (A, B) und einer Sekundärstation (S). Zeitraum 1969 bis 1974.
1. Basisstation (A): Kl. Feldberg/Ts. 2. Basisstation (B): Wasserkuppe
- Tab. 27: Mittlere jährliche Häufigkeit (%) von ausgewählten Kombinationen der Windgeschwindigkeitsklassen zwischen Basisstationen (A, B) und einer Sekundärstation (S). Zeitraum 1969 bis 1974.
1. Basisstation (A): Kl. Feldberg/Ts. 2. Basisstation (B): Wasserkuppe
- Tab. 28: Mittlere jährliche Häufigkeit (%) von ausgewählten Kombinationen der Windgeschwindigkeitsklassen zwischen Basisstationen (A, B) und einer Sekundärstation (S). Zeitraum 1969 bis 1974.
1. Basisstation (A): München-Riem 2. Basisstation (B): Wendelstein
- Tab. 29: Mittlere jährliche Häufigkeit (%) von ausgewählten Kombinationen der Windgeschwindigkeitsklassen zwischen Basisstationen (A, B) und einer Sekundärstation (S). Zeitraum 1969 bis 1974.
1. Basisstation (A): München-Riem 2. Basisstation (B): Wendelstein
- Abb. 1: Mittlerer Jahresgang der Flautenhäufigkeit in %. Beobachtungszeitraum 1969 bis 1974
- Abb. 2: Mittlerer jährlicher Tagesgang der Flautenhäufigkeit in %. (Niederungstyp) (Übergangstyp). Beobachtungszeitraum 1969 bis 1974
- Abb. 3: Mittlerer jährlicher Tagesgang der Flautenhäufigkeit in %. (Höhentyp). Beobachtungszeitraum 1969 bis 1974
- Abb. 4: Mittlerer Jahresgang der Häufigkeit von Windgeschwindigkeiten ≥ 5 m/s in %. Beobachtungszeitraum 1969 bis 1974
- Abb. 5: Mittlerer Jahresgang der Häufigkeit von Windgeschwindigkeiten ≥ 8 m/s in %. Beobachtungszeitraum 1969 bis 1974
- Abb. 6: Mittlerer Jahresgang der Häufigkeit von Windgeschwindigkeiten ≥ 12 m/s in %. Beobachtungszeitraum 1969 bis 1974
- Abb. 7: Mittlerer jährlicher Tagesgang von Windgeschwindigkeiten ≥ 5 , ≥ 8 , ≥ 12 m/s in %. Beobachtungszeitraum 1969 bis 1974
- Abb. 8: Mittlerer jährlicher Tagesgang von Windgeschwindigkeiten ≥ 12 m/s in %. Beobachtungszeitraum 1969 bis 1974

Tab. 1: Ausgewählte Stationen mit Windregistrierungen im Zeitraum 1969 bis 1974

Station	Seehöhe m ü. NN	Anemometerhöhe m ü. Gr.
Ahlhorn	48	10
Berus	363	10
Braunlage	607	14
Braunschweig	81	10
Bremen (Flugh.)	4	10
Bremerhaven	7	12
Brunsbüttel	2	12
Büsum	6	11
Deuselbach	480	10
Düsseldorf (Flugh.)	37	10
Emden	0/6 +)	10/16 +)
Essen	154	10
Feldberg/Schw.	1486	18
Friedrichshafen	401	11
Garmisch-Partenk.	719	10
Geisenheim	109/120 +)	24/10 +)
Gießen (Liebigsh.)	186	21
Göttingen	176	18
Hallig Hooge	4	10
Hamburg-Fuhlsb.	13	10
Hannover-Langenh.	53	10
Hof-Hohensaas	567	16
Hohenpeißenberg	975	22
Husum	3	21
Kahler Asten	835/841 +)	26
Karlsruhe	115	17
Kempton	705	10
Kiel	3/17 +)	22/10 +)
Kl. Feldberg/Ts.	805	10
Klippeneck	973	10
List/Sylt	28	12
Mannheim	97	17/19 +)
Marienberg	547	16
Memmingen	634	10
Mühlendorf/Inn	401	10
München-Riem	527	10
Norderney	13	21
Nürnberg (Flugh.)	310	10
Öhringen	276	10
Osnabrück	95	18
Passau	409	10
Regensburg	376	10
Saarbrücken-Ensheim	323	10
Schleswig	43	14
Selbach	431	10
Soltau	77	16
St. Peter	8	11
Stötten	734	10
Stuttgart-Echterd.	373	10
Ulm	522	10
Wahn	68/73 +)	20/10 +)
Wasserkuppe	92/945 +)	16/10 +)
Weiden	438	10
Weißenburg/Bay.	422	10
Wendelstein	1832	6
Westermarkelsdorf	1	17
Wulfsdorf-Ahrensburg	46	10
Würzburg	259	10

+) Verlegung innerhalb des Zeitraumes 1969 bis 1974

Tab. 2: Mittlere jährliche Anzahl der Tage mit einer Flaute-
dauer von mindestens N Stunden
Zeitraum 1969 bis 1974

Station \ N ≥	6	12	24
List/Sylt	42.4	8.7	0.3
Hannover-Langenh.	173.2	59.0	16.2
Wahn	222.3	106.3	32.9
Wasserkuppe	89.9	32.5	3.7
Ulm	296.2	182.8	89.7
Garmisch-Partenk.	364.7	298.0	193.8

Tab. 3: Verzeichnis der Großwetterlagen nach HESS-BREZOWSKY und ihre mittlere
jährliche Häufigkeit (o/o) (während des Zeitraumes 1969 bis 1974)

Großwetterlagen (GWL)	Abkürzung	Häufigkeit
unbestimmt	U	2.5
Westlage, antizyklonal	WA	6.1
Westlage, zyklonal	WZ	15.3
südliche Westlage	WS	1.8
Winkelförmige Westlage	WW	3.8
Südwestlage, antizyklonal	SWA	2.7
Südwestlage, zyklonal	SWZ	3.8
Nordwestlage, antizyklonal	NWA	1.3
Nordwestlage, zyklonal	NWZ	3.8
Hoch über Mitteleuropa	HM	5.4
Hochdruckbrücke Mitteleuropa	BM	6.7
Tief Mitteleuropa	TM	2.7
Nordlage, antizyklonal	NA	0.5
Nordlage, zyklonal	NZ	3.0
Hoch Nordmeer - Island, antizyklonal	HNA	1.5
Hoch Nordmeer - Island, zyklonal	HNZ	1.5
Hoch Britische Inseln	HB	4.3
Trog Mitteleuropa	TRM	5.2
Nordostlage, antizyklonal	NEA	2.2
Nordostlage, zyklonal	NEZ	2.4
Hoch Fennoskandien, antizyklonal	HFA	3.5
Hoch Fennoskandien, zyklonal	HFZ	2.1
Hoch Nordmeer - Fennoskandien, antizyklonal	HNFA	1.2
Hoch Nordmeer - Fennoskandien, zyklonal	HNFZ	2.0
Südostlage, antizyklonal	SEA	2.3
Südostlage, zyklonal	SEZ	2.3
Südlage, antizyklonal	SA	1.6
Südlage, zyklonal	SZ	0.9
Tief Britische Inseln	TB	2.9
Trog Westeuropa	TRW	4.7

Summe

100.0

Tab. 4: Mittlere jährliche Anzahl der Tage mit Flauteperioden von mindestens N Stunden in Abhängigkeit von den Großwetterlagen (GWL)
Zeitraum 1969 bis 1974

Station N	List / Syllt			Hannover-Langenhagen			Wahn			Wasserkuppe			Ulm			Garmisch-Partenk.		
	6	12	24	6	12	24	6	12	24	6	12	24	6	12	24	6	12	24
U	1.8	0.7	0.0	6.5	2.0	0.0	6.5	3.0	0.5	3.2	0.8	0.2	9.2	5.7	2.8	9.2	7.3	5.2
WA	2.0	0.8	0.0	9.8	2.5	0.2	17.3	9.7	3.2	6.3	1.0	0.0	20.3	14.2	8.2	22.5	17.7	11.5
WZ	3.3	0.3	0.0	13.0	3.0	0.5	19.5	5.3	1.5	5.5	1.2	0.0	33.5	14.5	4.0	55.5	47.7	30.7
WS	1.3	0.3	0.0	3.8	1.0	0.5	3.5	1.0	0.0	1.0	0.0	0.0	5.0	2.2	0.7	6.5	5.8	4.5
WW	0.8	0.0	0.0	7.5	2.3	0.3	8.3	3.7	1.0	3.0	1.0	0.0	12.0	8.3	3.8	14.0	11.7	8.3
SWA	0.2	0.0	0.0	5.3	1.7	0.7	4.3	1.5	0.7	2.0	0.7	0.0	9.0	7.0	4.0	9.7	8.3	5.2
SWZ	1.3	0.5	0.0	5.3	1.8	0.2	5.7	1.8	0.3	1.5	0.7	0.0	11.7	7.3	2.5	13.7	12.7	7.5
NWA	0.2	0.0	0.0	3.0	0.8	0.3	3.5	2.5	0.5	1.3	0.2	0.0	4.5	2.3	1.3	4.8	3.3	2.2
NWZ	0.7	0.0	0.0	1.7	0.2	0.0	4.3	0.8	0.0	0.5	0.2	0.0	5.2	1.0	0.2	14.0	13.3	8.5
HM	4.2	1.5	0.3	15.5	6.8	1.8	15.3	8.5	4.0	8.8	3.7	0.2	18.7	14.3	9.3	19.8	14.3	9.2
BM	5.3	1.2	0.0	19.3	9.5	4.3	20.3	13.5	6.8	12.2	6.0	1.0	20.8	15.5	10.3	24.5	19.5	12.7
TN	0.7	0.2	0.0	4.7	1.0	0.2	6.8	2.0	0.7	3.3	0.7	0.2	7.2	3.2	0.7	9.8	8.5	6.3
NA	0.3	0.0	0.0	0.8	0.3	0.0	1.7	1.5	0.3	0.3	0.3	0.0	1.7	1.0	0.3	1.8	1.3	0.8
NZ	0.8	0.3	0.0	2.5	0.3	0.0	5.0	1.8	0.2	2.5	0.8	0.2	7.3	2.3	0.7	10.8	9.8	6.2
HNA	0.7	0.0	0.0	4.3	1.3	0.8	5.0	3.0	0.7	2.2	0.7	0.2	5.3	3.2	1.7	5.3	3.5	1.7
HNZ	0.8	0.5	0.0	2.8	1.2	0.2	4.2	2.0	0.5	1.5	0.7	0.0	4.3	3.3	1.3	5.3	4.2	2.2
HB	1.8	0.3	0.0	10.8	3.5	1.8	14.3	9.3	4.3	4.0	1.7	0.2	13.2	8.0	4.2	15.7	10.5	5.5
TRM	2.8	0.7	0.0	8.0	3.3	0.5	12.0	5.7	2.2	5.0	1.7	0.2	15.0	6.5	3.2	19.3	18.2	14.0
NEA	2.2	0.2	0.0	5.8	1.5	0.5	7.3	3.5	0.3	2.2	0.8	0.0	6.5	3.2	1.2	8.2	4.5	2.7
NEZ	1.7	0.2	0.0	4.0	1.3	1.0	6.5	2.5	0.2	2.3	1.2	0.2	7.3	4.0	1.8	8.7	7.7	4.7
HFA	1.2	0.0	0.0	6.2	1.8	0.3	9.7	3.8	1.0	2.5	1.8	0.0	11.8	7.8	3.8	12.8	7.0	3.0
HPZ	1.2	0.2	0.0	3.0	1.2	0.0	5.2	3.0	0.3	2.8	1.3	0.2	6.8	4.2	1.3	7.8	6.7	4.0
HNF	0.7	0.0	0.0	3.0	1.3	0.2	4.0	2.5	0.3	1.2	0.3	0.0	3.8	2.8	0.5	4.3	2.0	1.5
HNFZ	0.8	0.0	0.0	3.2	0.3	0.0	5.5	2.3	0.8	2.3	0.3	0.0	6.3	4.5	1.8	7.2	5.0	3.5
SEA	0.7	0.0	0.0	3.0	0.8	0.7	3.3	1.0	0.2	2.2	1.2	0.2	7.5	6.5	4.5	8.3	8.0	5.7
SEZ	1.2	0.0	0.0	2.7	1.5	0.5	5.8	4.7	1.5	4.3	2.0	0.5	8.0	6.5	4.0	8.3	8.0	5.2
SA	0.5	0.3	0.0	2.5	0.8	0.2	1.8	0.8	0.2	1.0	0.5	0.2	5.8	5.0	3.7	5.8	5.5	4.3
SZ	0.2	0.2	0.0	1.0	0.3	0.0	0.7	0.3	0.0	0.5	0.2	0.0	3.2	2.2	1.5	3.2	3.2	2.7
TB	1.0	0.0	0.0	5.0	2.0	0.3	5.3	1.8	0.2	1.5	0.5	0.0	9.8	5.5	2.2	10.7	9.0	5.0
TRW	2.0	0.3	0.0	9.2	3.7	0.2	9.7	3.5	0.5	3.0	0.5	0.0	15.5	10.8	4.2	17.2	13.8	9.3

Tab. 5: Mittlere jährliche Häufigkeit der Windgeschwindigkeit für die jeweiligen Aufstellungshöhen der Anemometer
Zahl der Stunden
Zeitraum 1969 bis 1974
8760 Jahresstunden $\approx 1000 \text{ }^{\circ}/\text{oo}$

Station	Seehöhe m ü. NN	Windgeschwindigkeitsklassen in m/s												Summe	
		0.0 -0.9	1.0 -1.9	2.9 -2.9	3.0 -3.9	4.0 -4.9	5.0 -5.9	6.0 -6.9	7.0 -7.9	8.0 -8.9	9.0 -9.9	10.0 -10.9	11.0 -11.9		≥ 12.0
Ahlhorn	48	52	139	184	194	159	112	80	43	20	10	4	2	1	1000
Berus	363*)	32	129	156	174	148	120	78	52	38	25	17	10	20	1000
Braunlage	607*)	54	223	228	183	142	88	47	21	9	4	1	0	0	1000
Braunschweig	81	49	142	226	198	144	105	67	37	18	8	3	2	1	1000
Bremen (Flugh.)	4	18	118	170	172	141	130	86	58	36	19	13	6	6	1000
Bremerhaven	7	45	64	133	175	158	135	94	66	52	37	27	18	23	1000
Brunsbüttel	2	46	195	177	191	109	105	59	46	31	15	12	7	7	1000
Büsum	6	21	36	66	95	111	113	105	95	81	72	59	46	100	1000
Deuselbach	480	103	146	134	147	131	109	86	59	37	21	13	8	6	1000
Düsseldorf (Flugh.)	37+*)	80	136	178	170	135	119	80	47	29	14	6	4	2	1000
Emden	0/6+)	50	145	176	195	159	112	58	49	21	12	8	2	13	1000
Essen	154+)	24	116	203	221	164	120	69	39	21	12	6	3	2	1000
Feldberg/Schw.	1486*)	41	61	83	74	72	73	78	70	71	60	56	50	211	1000
Friedrichshafen	401*)	117	259	234	144	91	57	36	26	17	9	5	3	2	1000
Garmisch-Partenk.	719	642	190	90	55	21	2	•	•	•	•	•	•	•	1000
Geisenheim	109/120+*)	209	298	178	133	83	53	25	12	5	2	•	•	•	1000
Gießen (Liebigsh.)	186*)	193	261	221	149	90	49	22	9	3	2	1	0	0	1000
Göttingen	176*)	302	218	219	143	75	29	9	3	1	1	0	•	•	1000
Hallig Hooge	4	10	42	56	94	83	115	107	96	93	66	65	54	119	1000
Hamburg-Fuhlsb.	13	54	91	162	169	164	134	88	66	37	17	10	5	3	1000
Hannover-Laagenh.	53	36	130	196	168	154	119	77	55	33	16	9	4	3	1000
Hof-Hohensaas	567*)	77	166	184	179	159	102	68	34	25	12	8	3	3	1000
Hohenpeißenberg	975*)	28	111	159	153	127	106	77	65	49	37	28	18	42	1000
Husum	3	44	122	196	182	160	120	72	48	28	14	7	3	4	1000
Kahler Asten	835/841+)	8	30	74	119	170	178	131	107	74	43	31	17	18	1000
Karlsruhe	115*)	192	254	184	135	91	61	40	21	12	5	3	1	1	1000
Kempten	705	198	402	219	93	49	24	9	4	2	0	0	•	•	1000
Kiel	3/17+*)	59	132	224	197	158	106	57	31	18	9	4	2	3	1000
Kl. Feldbergs/Ts.	805*)	23	54	125	156	160	193	103	77	53	29	13	8	6	1000
Klippeneck	973*)	63	171	201	170	125	102	67	45	24	15	8	4	5	1000
List/Sylt	28	11	24	57	75	98	122	114	115	102	78	67	43	91	1000
Mannheim	97*)	164	286	249	156	81	42	15	5	1	1	0	•	•	1000
Marienberg	547	25	95	174	201	173	134	87	53	29	14	7	4	4	1000
Memmingen	634	136	181	200	145	113	83	49	35	23	13	10	7	7	1000
Mühldorf/Inn	401	304	264	197	114	59	31	16	8	4	2	1	0	0	1000
München-Riem	527	89	242	249	153	98	63	38	25	15	10	8	4	6	1000
Norderney	13	4	19	44	76	100	130	128	117	105	72	60	43	102	1000
Nürnberg (Flugh.)	310	200	252	192	143	89	51	35	16	11	6	3	1	1	1000

Tab. 5: Fortsetzung

Station	Seehöhe m ü. NN	Windgeschwindigkeitsklassen in m/s														Summe
		0.0 -0.9	1.0 -1.9	2.0 -2.9	3.0 -3.9	4.0 -4.9	5.0 -5.9	6.0 -6.9	7.0 -7.9	8.0 -8.9	9.0 -9.9	10.0 -10.9	11.0 -11.9	≥12.0		
Öhringen	276*	254	263	192	127	79	47	22	10	4	2	0	0	0	1000	
Onabrück	95	107	177	199	183	140	91	54	30	11	5	2	1	0	1000	
Passau	409*	303	342	174	88	48	24	12	6	2	1	0	0	0	1000	
Regensburg	376*	297	289	202	121	57	22	9	2	1	0	0	0	0	1000	
Saarbrücken-Ensh.	323	122	155	192	186	153	97	49	25	12	6	2	1	0	1000	
Schleswig	43	32	101	181	184	166	129	80	58	34	17	10	4	4	1000	
Selbach	431	87	165	205	197	147	95	51	29	13	6	3	1	1	1000	
Soltau	77*)	77	192	231	190	136	87	46	25	10	4	2	0	0	1000	
St. Peter	8	11	39	65	122	106	133	99	99	81	56	57	42	90	1000	
Stötten	734	29	94	169	190	150	117	81	55	39	26	19	12	19	1000	
Stuttgart-Echterd.	373	272	231	169	121	84	53	31	18	11	5	2	2	1	1000	
Ulm	522*	174	260	248	165	95	37	13	5	2	1	0	0	0	1000	
Wahn	68/73+	87	197	214	184	126	95	54	24	12	4	2	0	1	1000	
Wasserkuppe	921/945+	11	63	121	154	139	123	105	85	66	39	31	19	44	1000	
Weiden	438*	290	235	186	131	78	38	21	9	6	3	1	1	1	1000	
Weisenburg/Bay.	422*	271	203	165	142	90	54	36	16	13	5	3	1	1	1000	
Wendelstein	1832*	42	96	135	124	105	92	79	73	61	48	39	31	75	1000	
Westermarkelsdorf	1	15	47	76	125	111	129	114	87	85	57	53	33	68	1000	
Wulfsdorf-Ahrensob.	46	54	171	247	207	145	91	51	20	9	4	1	0	0	1000	
Würzburg	259	154	233	177	157	113	74	45	21	14	6	4	1	1	1000	

. : im Zeitraum 1969 bis 1974 nicht aufgetreten

0 : mittlere Häufigkeit weniger als 0.5 ‰

+) : Verlegung innerhalb des Zeitraumes 1969 bis 1974

*) : Repräsentanz durch Stationslage eingeschränkt
(Siedlungs- oder Siedlungsrandlage, Einfluß des Geländereliefs)

Tab. 6: Mittlere Verteilung der Bruttojahresenergie (KWh) auf die jeweiligen Windgeschwindigkeitsklassen
Zeitraum 1969 bis 1974

Station	Seehöhe m ü. NN	Windgeschwindigkeitsklassen in m/s													Summe
		0.0 -0.9	1.0 -1.9	2.0 -2.9	3.0 -3.9	4.0 -4.9	5.0 -5.9	6.0 -6.9	7.0 -7.9	8.0 -8.9	9.0 -9.9	10.0 -10.9	11.0 -11.9	≥12.0	
Ahlhorn	48	0	2	15	45	78	101	119	100	69	45	23	18	13	628
Berus	363	0	2	13	40	73	108	117	120	127	116	108	86	298	1208
Braunlage	607*	0	4	19	42	70	80	70	47	31	19	6	3	10	401
Braunschweig	81	0	2	18	45	71	95	101	86	61	38	18	15	19	569
Bremen (Flugh.)	4	0	2	14	39	69	117	129	135	120	91	85	50	82	933
Bremerhaven	7	0	1	11	40	78	122	141	153	177	175	171	148	345	1562
Brunsbüttel	2	0	3	15	44	53	95	88	107	106	73	75	87	87	807
Büsum	6	0	1	5	22	54	103	157	219	273	339	373	382	1665	3593
Deuselbach	480	0	2	11	33	64	99	128	137	126	100	85	64	98	947
Düsseldorf (Flugh.)	37	0	2	15	39	67	108	120	109	98	66	37	30	35	726
Emden	0/6+*	0	2	14	45	78	101	87	113	72	58	51	18	193	832
Essen	154*	0	2	17	51	81	109	104	89	72	57	38	22	30	672
Feldberg/Schw.	1486*	0	1	7	17	36	66	117	163	240	285	354	417	5298	7001
Friedrichshafen	401*	0	4	19	33	45	51	54	61	56	44	34	22	29	452
Garmisch-Partenk.	719*	0	3	7	13	10	2	•	•	•	•	•	•	•	35
Geisenheim	109/120+*	0	5	15	31	41	48	37	29	19	11	6	4	4	249
Gießen (Liebigsh.)	186	0	4	18	34	44	45	33	18	11	7	4	2	3	223
Göttingen	176*	0	4	18	33	37	26	14	7	3	3	1	•	•	146
Hallig Hooge	4	0	1	5	22	41	105	161	221	314	310	416	449	•	4120
Hamburg-Fuhlsb.	13	0	2	13	39	80	121	132	152	126	82	65	45	39	896
Hannover-Langenh.	53	0	2	16	38	76	107	116	128	110	77	60	35	36	801
Hof-Hohensaas	567*	0	3	15	41	68	92	101	80	84	57	54	24	34	653
Hohenpeißenberg	975*	0	2	13	35	62	96	116	151	166	175	179	148	723	1866
Husum	3*	0	2	16	42	79	108	107	110	96	65	44	27	47	743
Kahler Asten	835/841+	0	1	6	27	84	161	197	246	248	205	193	140	248	1756
Karlsruhe	115*	0	4	15	31	45	55	59	49	42	24	16	9	7	356
Kempten	705	0	7	18	21	24	21	14	9	6	2	1	•	•	123
Kiel	3/17+*	0	2	18	45	78	97	85	72	59	41	25	14	43	579
Kl.Feldberg/Ts.	805*	0	1	10	36	79	175	154	178	179	137	82	67	76	1174
Klippeneck	973*	0	3	17	39	61	92	100	103	83	69	54	34	72	727
List/Sylt	28	0	0	5	17	48	112	171	266	346	368	425	361	1518	3637
Mannheim	97*	0	5	20	36	40	38	23	12	5	3	1	•	•	183
Marienberg	547	0	2	14	46	85	122	131	122	98	64	47	31	51	813
Memmingen	634	0	3	16	34	56	75	73	81	77	62	62	38	104	681
Müldorf/Inn	401	0	4	16	26	29	28	23	19	14	9	5	3	•	176
München-Riem	527	0	4	20	35	48	57	57	59	51	46	54	37	77	545
Norderney	13	0	0	4	17	49	118	191	271	355	342	385	362	1858	3952
Nürnberg (Flugh.)	310	0	4	16	33	44	46	52	37	36	27	19	9	12	335

Tab. 6: Fortsetzung

Station	Seehöhe m ü. NN	Windgeschwindigkeitsklassen in m/s														Summe
		0.0 -0.9	1.0 -1.9	2.0 -2.9	3.0 -3.9	4.0 -4.9	5.0 -5.9	6.0 -6.9	7.0 -7.9	8.0 -8.9	9.0 -9.9	10.0 -10.9	11.0 -11.9	≥12.0		
Öhringen	276*)	0	4	16	29	39	42	32	24	15	9	3	1	1	215	
Osnabrück	95	0	3	16	42	69	82	82	69	38	23	11	5	5	445	
Passau	409*)	0	6	14	20	24	22	18	13	8	5	3	2	2	137	
Regensburg	376*)	0	5	17	28	28	20	14	5	4	2	1	.	.	124	
Saarbrücken-Ebnsh.	323	0	3	16	43	75	88	74	58	40	26	11	6	5	445	
Schleswig	43	0	2	15	42	82	117	121	134	115	82	61	36	47	854	
Selbach	431	0	3	17	45	72	86	77	68	45	27	16	7	7	470	
Soltau	77*)	0	3	19	43	67	79	69	58	32	18	11	3	5	407	
St. Peter	8	0	1	5	28	52	121	148	229	275	262	362	352	1559	3394	
Stötten	734	0	2	14	43	74	106	121	127	132	124	123	102	308	1276	
Stuttgart-Echterd.	373	0	4	14	28	41	48	47	42	36	24	15	11	14	324	
Ulm	522*)	0	4	20	38	47	33	19	12	6	3	.	.	.	182	
Wahn	68/73+)	0	3	18	42	62	86	82	55	41	19	10	4	6	428	
Wasserkuppe	921/945*)	0	1	10	35	68	111	158	197	222	186	198	162	714	2062	
Weiden	438	0	4	15	30	38	35	32	20	21	14	8	6	14	237	
Weißenburg/Bay.	422*)	0	3	14	33	45	49	53	37	43	23	21	11	11	343	
Wendelstein	1832*)	0	2	11	28	51	83	118	169	206	228	246	264	1361	2769	
Westermarkelsdorf	1	0	1	6	29	54	117	171	201	288	268	336	279	1078	2829	
Wulfsdorf-Ahrensbr.	46	0	3	20	47	71	82	76	45	32	19	9	2	0	406	
Würzburg	259	0	4	15	36	56	67	68	48	46	28	22	9	11	410	

. : im Zeitraum 1969 bis 1974 nicht aufgetreten

0 : Bruttojahresenergie weniger als 0.5 KWh

+) : Verlegung innerhalb des Zeitraumes 1969 bis 1974

*) : Repräsentanz durch Stationslage eingeschränkt
(Siedlungs- oder Siedlungsrandlagen, Einfluß des Geländereiefs)

Tab. 7: Häufigste Kombination der Windgeschwindigkeitsklassen zwischen Basisstation (B) und Sekundärstation (S) (mittlere jährliche Häufigkeit (°/oo))
Zeitraum: 1969 bis 1974

	<u>Basisstation</u>				
	Hallig Hooge	Emden	Hannover-Langenh.	Kl.Feldberg/Ts	München-Riem
<u>Sekundärstation</u>					
Ahlhorn	B3S2 (136)	B1S1 (279)	B1S1 (277)	B3S2 (136)	B1S1 (266)
Berus	B3S1 (114)	B1S1 (146)	B1S1 (154)	B3S3 (131)	B1S1 (248)
Braunlage	B3S1 (184)	B1S1 (272)	B1S1 (290)	B2S1 (183)	B1S1 (364)
Braunschweig	B3S1 (153)	B1S1 (256)	B1S1 (291)	B2S1 (149)	B1S1 (302)
Bremen (Flugh.)	B3S2/B4S3 (132)	B1S1 (245)	B1S1 (259)	B3S3 (128)	B1S1 (237)
Bremerhaven	B3S2 (152)	B1S1 (173)	B1S1 (167)	B3S3 (119)	B1S2 (224)
Brunsbüttel	B3S1 (149)	B1S1 (277)	B1S1 (253)	B2S1 (144)	B1S1 (277)
Büsum	B3S3 (179)	B2S3 (137)	B2S3 (132)	B3S3 (113)	B1S3 (194)
Deuselbach	B3S1 (137)	B1S1 (201)	B1S1 (207)	B3S3 (143)	B1S1 (296)
Düsseldorf (Flugh.)	B3S1 (136)	B1S1 (228)	B1S1 (233)	B2S1 (140)	B1S1 (283)
Emden	B3S2 (131)	-	B1S1 (243)	B3S2 (130)	B1S1 (262)
Essen	B3S2 (129)	B1S1 (192)	B1S1 (198)	B3S2 (147)	B1S1 (242)
Feldberg/Schw.	B3S3/B3S4 (76)	B1S3 (87)	B1S3 (86)	B3S4 (108)	B1S1 (138)
Friedrichshafen	B3S1 (199)	B1S1 (241)	B1S1 (236)	B3S1 (211)	B1S1 (429)
Garmisch-Part.	B3S1 (293)	B1S1 (355)	B1S1 (342)	B3S1 (350)	B1S1 (547)
Geisenheim	B3S1 (233)	B1S1 (306)	B1S1 (303)	B2S1 (241)	B1S1 (474)
Gießen (Liebigsh.)	B3S1 (236)	B1S1 (322)	B1S1 (326)	B2S1 (242)	B1S1 (473)
Göttingen	B3S1 (261)	B1S1 (346)	B1S1 (348)	B2S1 (257)	B1S1 (487)
Hallig-Hooge	-	B1S3 (136)	B1S3 (129)	B3S4 (116)	B1S3 (200)
Hamburg-Fuhlsb.	B3S2 (146)	B1S1 (220)	B1S1 (229)	B3S3 (125)	B1S1 (215)
Hannover-Langenh.	B3S1 (129)	B1S1 (243)	-	B2S1 (132)	B1S1 (263)
Hof-Hohensaas	B3S1 (150)	B1S1 (231)	B1S1 (248)	B2S1 (157)	B1S1 (329)
Hohenpeißenberg	B3S1 (104)	B1S1 (124)	B1S1 (124)	B3S3 (106)	B1S1 (254)
Husum	B3S2 (165)	B1S1 (239)	B1S1 (229)	B3S2 (127)	B1S1 (240)
Kahler Asten	B3S3 (138)	B2S3 (169)	B2S3 (161)	B3S3 (201)	B1S3 (235)
Karlsruhe	B3S1 (220)	B1S1 (294)	B1S1 (293)	B2S1 (218)	B1S1 (480)
Kempten	B3S1 (272)	B1S1 (338)	B1S1 (334)	B3S1 (289)	B1S1 (556)
Kiel	B3S1 (145)	B1S1 (253)	B1S1 (252)	B2S1 (143)	B1S1 (276)
Kl.Feldberg/Ts	B4S3 (116)	B2S3 (130)	B1S2 (132)	-	B1S2 (201)
Klippeneck	B3S1 (148)	B1S1 (173)	B1S1 (177)	B2S1 (166)	B1S1 (311)
List/Sylt	B3S3 (219)	B2S3 (139)	B1S3 (144)	B3S3/B3S4 (122)	B1S3 (220)
Mannheim	B3S1 (240)	B1S1 (316)	B1S1 (316)	B2S1 (249)	B1S1 (492)
Marienberg	B3S2 (124)	B1S1 (151)	B1S1 (171)	B3S2 (161)	B1S2 (222)
Memmingen	B3S1 (179)	B1S1 (237)	B1S1 (236)	B2S1 (183)	B1S1 (422)
Mühdorf/Inn	B3S1 (254)	B1S1 (316)	B1S1 (318)	B3S1 (267)	B1S1 (539)
München-Riem	B3S1 (200)	B1S1 (262)	B1S1 (263)	B2S1 (201)	-
Norderney	B3S3 (176)	B2S3 (172)	B2S3 (156)	B2S3 (131)	B1S3 (250)
Nürnberg (Flugh.)	B3S1 (221)	B1S1 (297)	B1S1 (304)	B2S1 (227)	B1S1 (479)
Öhringen	B3S1 (239)	B1S1 (301)	B1S1 (310)	B2S1 (251)	B1S1 (505)
Osnabrück	B3S1 (179)	B1S1 (301)	B1S1 (306)	B2S1 (173)	B1S1 (343)
Passau	B3S1 (270)	B1S1 (334)	B1S1 (334)	B3S1 (292)	B1S1 (548)
Regensburg	B3S1 (262)	B1S1 (322)	B1S1 (327)	B3S1 (278)	B1S1 (529)
Saarbrücken-Ensheim	B3S1 (160)	B1S1 (205)	B1S1 (212)	B2S1 (183)	B1S1 (330)
Schleswig	B3S2 (165)	B1S1 (206)	B1S1 (199)	B3S2 (130)	B1S1/B1S2 (214)
Selbach	B3S1 (156)	B1S1 (191)	B1S1 (200)	B2S1 (179)	B1S1 (316)
Soltau	B3S1 (184)	B1S1 (311)	B1S1 (328)	B2S1 (178)	B1S1 (350)
St. Peter	B3S3 (203)	B2S3 (155)	B2S3 (138)	B3S3 (121)	B1S3 (204)
Stötten	B3S1 (103)	B1S2 (138)	B1S1 (143)	B3S3 (129)	B1S1 (249)
Stuttgart-Echterd.	B3S1 (228)	B1S1 (295)	B1S1 (298)	B2S1 (235)	B1S1 (506)
Ulm	B3S1 (230)	B1S1 (290)	B1S1 (293)	B2S1 (240)	B1S1 (501)
Wahn	B3S1 (171)	B1S1 (253)	B1S1 (268)	B2S1 (182)	B1S1 (350)
Wasserkuppe	B3S2 (102)	B1S2 (129)	B1S2 (130)	B3S3 (160)	B1S2 (189)
Weiden	B3S1 (246)	B1S1 (320)	B1S1 (324)	B2S1 (249)	B1S1 (501)
Weißenburg/Bayern	B3S1 (224)	B1S1 (294)	B1S1 (300)	B2S1 (230)	B1S1 (483)
Wendelstein	B3S1 (96)	B1S1 (121)	B1S1 (129)	B3S3 (98)	B1S1 (212)
Westermarkelsdorf	B3S3 (136)	B2S3 (135)	B2S3 (126)	B3S3 (126)	B1S3 (201)
Wulfsdorf-Ahrensburg	B3S1 (168)	B1S1 (286)	B1S1 (294)	B2S1 (164)	B1S1 (326)
Würzburg	B3S1 (198)	B1S1 (273)	B1S1 (289)	B2S1 (208)	B1S1 (431)

Tab. 8: Mittlere jährliche Häufigkeit (°/oo) von ausgewählten Kombinationen der Windgeschwindigkeitsklassen zwischen Basisstation (B) und Sekundärstation (S)
 Zeitraum: 1969 bis 1974 Basisstation: Hallig Hooge

Sekundärstation	Entfernung	B1 S1	B3 S3	B4 S4	B5 S5
Ahlhorn	190	77	48	9	1
Berus	596	40	73	30	8
Braunlage	345	73	32	5	.
Braunschweig	286	75	45	9	1
Bremen (Flughafen)	173	76	67	23	4
Bremerhaven	117	68	90	61	19
Brunsbüttel	84	92	44	23	5
Büsum	59	68	179	162	73
Deuselbach	546	51	74	27	2
Düsseldorf (Flughafen)	385	68	69	19	1
Emden	160	77	46	16	9
Essen	366	59	63	16	1
Feldberg/Schwarzwald	749	23	76	67	45
Friedrichshafen	769	66	33	11	1
Garmisch-Partenkirchen	804	98	1	.	.
Geisenheim	507	81	21	3	.
Gießen (Liebigsh.)	448	88	14	2	.
Göttingen	346	96	4	1	.
Hallig Hooge	-	-	-	-	-
Hamburg-Fuhlsbüttel	143	80	70	22	3
Hannover-Langenhagen	248	73	60	19	2
Hof ⁴ Hohensaas	523	64	54	16	1
Hohenpeißenberg	768	35	77	45	14
Husum	39	98	42	12	4
Kahler Asten	378	24	138	60	10
Karlsruhe	620	78	30	8	.
Kempton	767	95	8	1	.
Kiel	109	92	34	9	3
Kl. Feldberg/Ts	484	29	111	30	2
Klippeneck	722	51	61	14	1
List/Sylt	48	58	219	196	75
Mannheim	564	86	13	1	.
Marienberg	434	42	76	18	1
Memmingen	739	62	47	18	3
Mühdorf/Inn	751	88	14	2	.
München-Riem	747	69	33	13	2
Norderney	127	28	176	147	59
Nürnberg(Flughafen)	590	81	24	7	1
Öhringen	601	81	18	2	.
Osnabrück	258	82	29	4	.
Passau	743	94	9	1	.
Regensburg	664	89	7	1	.
Saarbrücken-Ensheim	599	56	44	7	.
Schleswig	69	87	58	18	4
Selbach	570	52	46	8	.
Soltau	197	91	23	3	.
St. Peter	27	74	203	163	72
Stötten	658	36	76	30	8
Stuttgart-Echterdingen	655	79	26	7	1
Ulm	692	79	12	1	.
Wahn	422	73	44	6	.
Wasserkuppe	462	33	100	55	17
Weiden	597	87	14	4	.
Weißenburg/Bayern	636	80	24	7	.
Wendelstein	799	39	76	61	21
Westermarkelsdorf	164	46	136	114	44
Wulfsdorf-Ahrensburg	149	91	23	3	.
Würzburg	536	75	34	9	.

Tab. 9: Mittlere jährliche Häufigkeit (°/oo) von ausgewählten Kombinationen der Windgeschwindigkeitsklassen zwischen Basisstation (B) und Sekundärstation (S)
 Zeitraum: 1969 bis 1974 Basisstation: Hallig Hooge

Sekundärstation	Entfernung	B1 S4	B1 S5	B3 S4	B3 S5	B4 S5	B5 S1
Ahlhorn	190	.	.	2	.	.	4
Berus	596	6	.	19	3	7	21
Braunlage	345	.	.	2	.	.	21
Braunschweig	286	.	.	3	.	.	10
Bremen (Flughafen)	173	1	.	5	.	1	2
Bremerhaven	117	1	.	16	1	3	.
Brunsbüttel	84	1	.	4	.	1	3
Büsum	59	1	1	47	3	23	.
Deuselbach	546	4	.	16	1	2	22
Düsseldorf (Flughafen)	385	1	.	8	.	1	14
Emden	160	.	.	5	.	3	3
Essen	366	1	.	8	.	1	14
Feldberg/Schwarzwald	749	24	18	76	55	64	14
Friedrichshafen	769	2	.	9	.	1	67
Garmisch-Partenkirchen	804	.	.	.	.	.	112
Geisenheim	507	.	.	1	.	.	58
Gießen (Liebigsh.)	448	.	.	1	.	.	42
Göttingen	346	.	.	.	.	.	45
Hallig Hooge	-	-	-	-	-	-	-
Hamburg-Fuhlsbüttel	143	1	.	4	.	.	1
Hannover-Langenhagen	248	1	.	5	.	1	5
Hof-Hohensaas	523	1	.	9	.	1	20
Hohenpeißenberg	768	10	2	35	8	14	22
Husum	39	.	.	1	.	.	1
Kahler Asten	378	6	.	33	1	6	3
Karlsruhe	620	1	.	3	.	.	48
Kempton	767	.	.	.	.	.	80
Kiel	109	.	.	1	.	.	4
Kl. Feldberg/Ts	484	7	.	26	1	2	9
Klippeneck	722	5	1	13	1	1	35
List/Sylt	48	1	.	50	1	15	.
Mannheim	564	.	.	.	.	.	55
Marienberg	434	3	.	13	1	1	14
Memmingen	739	2	.	11	1	2	40
Mühdorf/Inn	751	1	.	2	.	.	77
München-Riem	747	2	.	9	1	2	48
Norderney	127	5	1	63	6	32	.
Nürnberg (Flughafen)	590	1	.	3	.	.	52
Öhringen	601	.	.	1	.	.	64
Osnabrück	258	1	.	1	.	.	10
Passau	743	.	.	1	.	.	84
Regensburg	664	.	.	.	.	.	79
Saarbrücken-Ensheim	599	1	.	4	.	.	40
Schleswig	69	.	.	2	.	.	1
Selbach	570	1	.	4	.	.	40
Soltau	197	.	.	1	.	.	9
St. Peter	27	1	.	26	2	15	.
Stötten	658	8	1	23	3	7	19
Stuttgart-Echterd.	655	1	.	3	.	.	60
Ulm	692	.	.	.	.	.	61
Wahn	422	.	.	3	.	.	27
Wasserkuppe	462	8	1	38	7	15	5
Weiden	597	1	.	2	.	.	58
Weißenburg/Bayern	636	1	.	5	.	.	46
Wendelstein	799	13	4	51	18	25	17
Westermarkelsdorf	164	3	.	51	3	21	.
Wulfsdorf-Ahrensburg	149	.	.	.	.	.	8
Würzburg	536	1	.	4	.	.	37

Tab.10: Mittlere jährliche Häufigkeit (°/oo) von ausgewählten Kombinationen der Windgeschwindigkeitsklassen zwischen Basisstation (B) und Sekundärstation (S)
Zeitraum: 1969 bis 1974 Basisstation: Emden

Sekundärstation	Entfernung	B1 S1	B3 S3	B4 S4	B5 S5
Ahlhorn	84	279	125	13	.
Berus	455	146	68	11	2
Braunlage	288	272	72	4	.
Braunschweig	244	256	99	9	.
Bremen (Flughafen)	108	245	115	15	1
Bremerhaven	93	173	91	15	2
Brunsbüttel	140	277	88	12	1
Büsum	170	94	51	16	5
Deuselbach	401	201	83	11	1
Düsseldorf (Flughafen)	234	228	92	10	.
Emden	-	-	-	-	-
Essen	211	192	87	8	.
Feldberg/Schwarzwald	607	74	44	11	7
Friedrichshafen	651	241	36	4	.
Garmisch-Partenkirchen	700	355	1	.	.
Geisenheim	372	306	37	3	.
Gießen (Liebigsh.)	319	322	39	2	.
Göttingen	270	346	20	1	.
Hallig Hooge	160	77	46	16	9
Hamburg-Fuhlsbüttel	185	220	111	13	.
Hannover-Langenhagen	190	243	108	14	.
Hof-Hohensaas	458	231	79	9	.
Hohenpeißenberg	668	124	55	10	2
Husum	170	239	107	13	1
Kahler Asten	253	69	92	17	2
Karlsruhe	488	294	50	5	.
Kempten	656	338	15	1	.
Kiel	220	253	91	9	.
Kl. Feldberg/Ts	354	101	100	10	.
Klippeneck	590	173	57	5	.
List/Sylt	203	62	107	18	7
Mannheim	439	316	28	.	.
Marienberg	299	151	83	7	.
Memmingen	627	237	53	7	1
Mühdorf/Inn	672	316	19	1	.
München-Riem	652	262	44	6	1
Norderney	44	59	44	18	7
Nürnberg (Flughafen)	497	297	44	5	.
Öhringen	483	301	33	2	.
Osnabrück	128	301	96	7	.
Passau	679	334	16	1	.
Regensburg	585	322	13	.	.
Saarbrücken-Ensheim	454	205	57	3	.
Schleswig	204	206	104	13	.
Selbach	429	191	56	3	.
Soltau	177	311	91	7	.
St. Peter	142	88	55	16	7
Stötten	547	130	68	10	2
Stuttgart-Echterdingen	533	295	38	4	.
Ulm	577	290	22	1	.
Wahn	274	253	67	4	.
Wasserkuppe	364	110	81	16	3
Weiden	528	320	29	3	.
Weißenburg/Bayern	542	294	43	4	.
Wendelstein	709	121	56	11	3
Westermarkelsdorf	282	85	69	16	3
Wulfsdorf-Ahrensburg	202	286	88	7	.
Würzburg	431	273	57	4	.

Tab. 11: Mittlere jährliche Häufigkeit (°/oo) von ausgewählten Kombinationen der Windgeschwindigkeitsklassen zwischen Basisstation (B) und Sekundärstation (S)
Zeitraum: 1969 bis 1974 Basisstation: Emden

Sekundärstation	Entfernung	B1 S4	B1 S5	B3 S4	B3 S5	B4 S5	B5 S1
Ahlhorn	84	.	.	18	.	1	.
Berus	455	14	2	36	9	3	1
Braunlage	288	1	.	6	.	.	1
Braunschweig	244	.	.	15	.	1	.
Bremen (Flughafen)	108	.	.	48	1	4	.
Bremerhaven	93	4	.	79	11	9	.
Brunsbüttel	140	.	.	40	3	3	.
Büsum	170	27	1	90	58	19	.
Deuselbach	401	11	1	33	2	1	1
Düsseldorf (Flughafen)	234	2	.	23	1	1	.
Emden	-	-	-	-	-	-	-
Essen	211	4	.	15	1	.	.
Feldberg/Schwarzwald	607	90	62	51	63	17	1
Friedrichshafen	651	7	.	11	1	.	7
Garmisch-Partenkirchen	700	.	.	.	.	.	12
Geisenheim	372	1	.	4	.	.	5
Gießen (Liebigsh.)	319	.	.	2	.	.	3
Göttingen	270	.	.	1	.	.	1
Hallig Hooge	160	43	3	90	63	20	.
Hamburg-Fuhlsbüttel	185	1	.	44	1	2	.
Hannover-Langenhagen	190	1	.	35	1	2	1
Hof-Hohensaas	458	5	.	21	1	1	1
Hohenpeißenberg	668	36	8	42	16	6	3
Husum	170	1	.	26	1	1	.
Kahler Asten	253	22	1	71	8	5	.
Karlsruhe	485	2	.	9	.	.	4
Kempten	656	.	.	1	.	.	7
Kiel	220	1	.	17	1	2	1
Kl. Feldberg/Ts	354	27	1	36	2	2	1
Klippeneck	590	18	1	14	1	1	2
List/Sylt	203	46	2	94	50	15	.
Mannheim	439	.	.	1	.	.	4
Marienberg	299	9	.	22	2	1	.
Memmingen	627	7	1	21	3	2	3
Mühdorf/Inn	672	1	.	3	.	.	9
München-Riem	652	6	.	16	2	2	5
Norderney	44	25	1	109	58	21	.
Nürnberg (Flughafen)	497	2	.	9	.	.	5
Öhringen	483	.	.	3	.	.	7
Osnabrück	128	.	.	7	.	.	.
Passau	679	1	.	1	.	.	9
Regensburg	585	.	.	1	.	.	9
Saarbrücken-Ensheim	454	3	.	8	.	.	2
Schleswig	204	1	.	38	1	2	.
Selbach	429	3	.	10	.	.	2
Soltau	177	.	.	6	.	.	.
St. Peter	142	24	1	92	50	18	.
Stötten	547	21	2	35	8	4	2
Stuttgart-Echterd.	533	2	.	8	.	1	6
Ulm	577	.	.	1	.	.	7
Wahn	274	1	.	8	.	.	1
Wasserkuppe	364	29	5	56	20	7	.
Weiden	528	1	.	5	.	.	5
Weißenburg	542	3	.	9	.	.	3
Wendelstein	709	48	17	54	26	8	2
Westermarkelsdorf	282	42	4	82	36	13	.
Wulfsdorf-Ahrensburg	202	.	.	7	.	.	1
Würzburg	431	2	.	10	.	.	2

Tab. 12.: Mittlere jährliche Häufigkeit (‰) von ausgewählten Kombinationen der Windgeschwindigkeitsklassen zwischen Basisstation (B) und Sekundärstation (S)
 Zeitraum: 1969 bis 1974
 Basisstation: Hannover-Langenhagen

Sekundärstation	Entfernung	B1 S1	B3 S3	B4 S4	B5 S5
Ahlhorn	108	277	148	24	.
Berus	409	154	84	20	1
Braunlage	103	290	82	8	.
Braunschweig	55	291	136	22	1
Bremen (Flughafen)	90	259	169	40	2
Bremerhaven	144	167	118	32	2
Brunsbüttel	165	253	95	20	.
Büsum	194	90	65	19	2
Deuselbach	349	207	99	23	1
Düsseldorf (Flughafen)	235	233	109	21	.
Emden	190	243	108	14	.
Essen	219	198	94	13	.
Feldberg/Schwarzwald	519	79	50	15	2
Friedrichshafen	535	236	40	8	.
Garmisch-Partenkirchen	557	342	1	.	.
Geisenheim	295	303	37	4	.
Gießen (Liebigsh.)	217	326	38	3	.
Göttingen	103	348	16	1	.
Hallig Hooge	248	73	60	19	2
Hamburg-Fuhlsbüttel	135	229	155	34	1
Hannover-Langenhagen	-	-	-	-	-
Hof-Hohensaas	279	248	100	21	1
Hohenpeißenberg	523	124	66	20	2
Husum	228	229	117	20	.
Kahler Asten	162	79	126	36	2
Karlsruhe	391	293	56	9	.
Kempten	524	334	15	1	.
Kiel	212	252	99	13	.
Kl.Feldberg/Ts	260	109	123	22	.
Klippeneck	490	177	63	9	.
List/Sylt	295	60	68	22	2
Mannheim	337	316	27	1	.
Marienberg	230	171	104	15	.
Memmingen	495	236	61	14	1
Mühdorf/Inn	505	318	20	2	.
München-Riem	499	263	50	12	1
Norderney	218	51	61	20	2
Nürnberg (Flughafen)	343	304	47	9	.
Öhringen	364	310	32	3	.
Osnabrück	116	306	107	14	.
Passau	503	334	16	1	.
Regensburg	418	327	13	.	.
Saarbrücken-Endsheim	398	212	64	7	.
Schleswig	230	199	127	26	1
Selbach	378	200	61	8	.
Soltau	63	328	101	12	.
St. Peter	216	83	77	22	2
Stötten	421	143	85	22	1
Stuttgart-Echterd.	420	298	44	7	.
Ulm	453	293	23	1	.
Wahn	251	268	77	8	.
Wasserkuppe	220	124	98	23	1
Weiden	353	324	30	4	.
Weißenburg	390	300	47	8	.
Wendelstein	551	129	68	18	2
Westermarkelsdorf	247	87	86	25	2
Wulfsdorf-Ahrensburg	146	294	93	11	.
Würzburg	295	289	65	10	.

Tab.13: Mittlere jährliche Häufigkeit (°/oo) von ausgewählten Kombinationen der Windgeschwindigkeitsklassen zwischen Basisstation (B) und Sekundärstation (S)
 Zeitraum: 1969 bis 1974 Basisstation: Hannover-Langenhagen

Sekundärstation	Entfernung	B1 S4	B1 S5	B3 S4	B3 S5	B4 S5	B5 S1
Ahlhorn	108	.	.	10	.	.	.
Berus	409	10	1	39	8	8	.
Braunlage	103	.	.	4	.	.	.
Braunschweig	55	.	.	7	.	.	.
Bremen (Flughafen)	90	.	.	33	.	4	.
Bremerhaven	144	3	.	80	6	15	.
Brunsbüttel	165	1	.	36	2	5	.
Büsum	194	34	2	118	48	37	.
Deuselbach	349	8	.	33	2	2	.
Düsseldorf (Flughafen)	235	1	.	23	.	1	.
Emden	190	2	.	19	7	4	.
Essen	219	1	.	18	1	1	.
Feldberg/Schwarzwald	519	84	54	61	70	31	.
Friedrichshafen	535	5	.	12	1	.	.
Garmisch-Partenkirchen	557	.	.	.	.	.	2
Geisenheim	295	.	.	3	.	.	.
Gießen (Liebigsh.)	217	.	.	1	.	.	.
Göttingen	103	.	.	.	.	.	.
Hallig Hooge	248	49	5	110	58	36	.
Hamburg-Fuhlsbüttel	135	.	.	32	.	2	.
Hannover-Langenhagen	-	-	-	-	-	-	-
Hof-Hohensaas	279	2	.	18	.	1	.
Hohenpeißenberg	523	29	5	47	16	12	.
Husum	228	1	.	25	1	2	.
Kahler Asten	162	10	.	81	6	10	.
Karlsruhe	391	1	.	8	.	.	.
Kempton	524	.	.	1	.	.	.
Kiel	212	1	.	13	1	2	.
Kl.Feldberg/Ts	260	22	1	33	2	2	.
Klippeneck	490	15	2	15	1	1	.
List/Sylt	295	51	2	116	45	31	.
Mannheim	337	.	.	1	.	.	.
Marienberg	230	5	.	21	1	1	.
Memmingen	495	5	1	21	2	3	.
Mühlendorf/Inn	505	1	.	3	.	.	.
München-Riem	499	4	1	15	2	2	.
Norderney	218	35	3	130	47	39	.
Nürnberg (Flughafen)	343	1	.	7	.	.	.
Öhringen	364	.	.	2	.	.	.
Osnabrück	116	.	.	3	.	.	.
Passau	503	.	.	2	.	.	1
Regensburg	418	.	.	1	.	.	.
Saarbrücken-Ensheim	398	2	.	7	.	.	.
Schleswig	230	1	.	31	.	3	.
Selbach	378	2	.	9	.	.	.
Soltau	63	.	.	2	.	.	.
St. Peter	216	34	2	106	42	32	.
Stötten	421	15	2	38	7	7	.
Stuttgart-Echterd.	420	1	.	7	.	.	.
Ulm	453	.	.	1	.	.	.
Wahn	251	.	.	7	.	.	.
Wasserkuppe	220	21	2	66	20	16	.
Wenden	353	1	.	4	.	1	.
Weißenburg/Bayern	390	2	.	8	.	.	.
Wendelstein	551	40	12	65	28	17	.
Westermarkelsdorf	247	40	3	98	29	25	.
Wulfsdorf-Ahrensburg	146	.	.	3	.	.	.
Würzburg	295	1	.	9	.	.	.

Tab.14: Mittlere jährliche Häufigkeit (°/oo) von ausgewählten Kombinationen der Windgeschwindigkeitsklassen zwischen Basisstation (B) und Sekundärstation (S) Zeitraum: 1969 bis 1974 Basisstation: Kl. Feldberg/Ts

Sekundärstation	Entfernung	B1 S1	D3 S3	B4 S4	B5 S5
Ahlhorn	295	111	116	13	.
Berus	165	123	131	30	1
Braunlage	223	141	81	7	.
Braunschweig	263	117	101	12	.
Bremen (Flughafen)	316	102	128	22	1
Bremerhaven	368	64	119	22	1
Brunsbüttel	409	103	88	15	.
Büsum	434	35	113	26	2
Deuselbach	118	138	143	33	1
Düsseldorf (Flughafen)	165	127	129	21	1
Emden	354	101	100	10	.
Essen	173	120	123	17	.
Feldberg/Schwarzwald	267	68	81	24	4
Friedrichshafen	297	146	55	9	.
Garmisch-Partenkirchen	358	182	1	.	.
Geisenheim	42	181	45	4	.
Gießen (Liebigsh.)	43	183	40	3	.
Göttingen	178	185	17	1	.
Hallig Hooge	484	29	111	30	2
Hamburg-Fuhlsbüttel	392	82	125	18	.
Hannover-Langenhagen	260	109	123	22	.
Hof-Hohensaas	238	133	106	18	.
Hohenpeißenberg	326	94	106	24	2
Husum	473	90	105	13	.
Kahler Asten	106	69	201	48	2
Karlsruhe	135	161	62	10	.
Kempten	307	183	16	13	.
Kiel	469	98	85	7	.
Kl.Feldberg/Ts	-	-	-	-	-
Klippeneck	238	134	104	19	1
List/Sylt	532	24	122	31	2
Mannheim	80	186	29	1	.
Marienberg	62	125	141	22	.
Memmingen	278	136	82	15	1
Mühdorf/Inn	365	181	24	3	.
München-Riem	328	149	64	14	1
Norderney	397	21	127	34	3
Nürnberg (Flughafen)	200	168	50	9	.
Öhringen	137	181	38	4	.
Osnabrück	227	141	93	10	.
Passau	402	185	18	2	.
Regensburg	294	183	13	1	.
Saarbrücken-Ensheim	146	152	88	12	.
Schleswig	484	77	110	14	.
Selbach	134	143	89	13	.
Soltau	319	137	79	7	.
St.Peter	451	33	121	26	2
Stötten	200	110	129	31	2
Stuttgart-Echterd.	180	171	54	9	.
Ulm	229	167	24	1	.
Wahn	120	150	89	9	.
Wasserkuppe	108	104	160	40	3
Weiden	271	177	32	5	.
Weißenburg/Bayern	223	172	54	11	.
Wendelstein	381	82	98	25	2
Westermarkelsdorf	510	37	126	29	1
Wulfsdorf-Ahrensburg	402	115	75	5	.
Würzburg	113	165	74	11	.

Tab. 15: Mittlere jährliche Häufigkeit (°/oo) von ausgewählten Kombinationen der Windgeschwindigkeitsklassen zwischen Basisstation (B) und Sekundärstation (S)
 Zeitraum: 1969 bis 1974
 Basisstation: Kleiner Feldberg/Ts

Sekundärstation	Entfernung	B1 S4	B1 S5	B3 S4	B3 S5	B4 S5	B5 S1
Ahlhorn	295	2	.	15	.	.	1
Berus	165	1	.	45	6	12	.
Braunlage	223	.	.	5	.	.	1
Braunschweig	263	.	.	14	.	1	1
Bremen (Flughafen)	316	3	.	38	1	3	1
Bremerhaven	368	11	.	66	11	8	.
Brunsbüttel	409	5	.	33	3	15	3
Büsum	434	39	6	109	51	24	.
Deuselbach	118	1	.	36	2	4	.
Düsseldorf (Flughafen)	165	.	.	25	.	1	1
Emden	354	2	1	20	7	4	1
Essen	173	.	.	19	1	1	.
Feldberg/Schwarzwald	267	31	14	108	101	53	.
Friedrichshafen	297	2	.	14	1	1	2
Garmisch-Partenkirchen	358	.	.	.	.	.	5
Geisenheim	42	.	.	3	.	.	1
Gießen (Liebigsh.)	43	.	.	1	.	.	1
Göttingen	178	.	.	.	.	.	2
Hallig Hooge	484	43	9	116	58	25	.
Hamburg-Fuhlsbüttel	392	4	.	35	1	2	1
Hannover-Langenhagen	260	2	.	29	.	2	1
Hof-Hohensaas	238	.	.	22	1	2	.
Hohenpeißenberg	326	10	1	66	18	16	.
Husum	473	4	1	22	1	1	1
Kahler Asten	106	1	.	92	5	11	.
Karlsruhe	135	.	.	8	.	.	2
Kempten	307	.	.	1	.	.	4
Kiel	469	5	1	11	1	.	1
Kl.Feldberg/Ts	-	-	-	-	-	-	-
Klippeneck	238	2	.	23	1	3	1
List/Sylt	532	45	6	122	43	21	.
Mannheim	80	.	.	.	.	.	2
Marienberg	62	1	.	20	1	2	.
Memmingen	278	2	.	23	2	4	2
Mühlendorf/Inn	365	.	.	2	.	.	2
München-Riem	328	1	.	17	2	3	2
Norderney	397	35	5	130	49	26	.
Nürnberg (Flughafen)	200	.	.	8	.	1	1
Öhringen	137	.	.	2	.	.	1
Osnabrück	227	.	.	6	.	.	1
Passau	402	.	.	1	.	.	3
Regensburg	294	.	.	1	.	.	2
Saarbrücken-Ensheim	146	.	.	5	.	.	.
Schleswig	484	6	.	30	1	1	1
Selbach	134	.	.	6	.	.	.
Soltau	319	.	.	6	.	.	1
St. Peter	451	35	5	99	46	19	.
Stötten	200	2	.	48	6	10	.
Stuttgart-Echterd.	180	.	.	7	.	1	2
Ulm	229	.	.	1	.	.	2
Wahn	120	.	.	6	.	.	1
Wasserkuppe	108	2	.	88	17	23	.
Weiden	271	.	.	4	.	.	1
Weißenburg/Bayern	223	.	.	9	.	1	1
Wendelstein	381	17	4	87	34	23	1
Westermarkelsdorf	510	33	7	126	94	13	.
Wulfsdorf-Ahrensburg	402	1	.	6	.	.	1
Würzburg	113	.	.	8	.	.	1

Tab. 16: Mittlere jährliche Häufigkeit (°/oo) von ausgewählten Kombinationen der Windgeschwindigkeitsklassen zwischen Basisstation (B) und Sekundärstation (S)
 Zeitraum: 1969 bis 1974
 Basisstation: München-Riem

Sekundärstation	Entfernung	B1 S1	B3 S3	B4 S4	B5 S5
Ahlhorn	584	266	48	6	.
Berus	384	248	53	14	2
Braunlage	404	364	41	4	.
Braunschweig	468	302	52	7	.
Bremen (Flughafen)	580	237	50	11	1
Bremerhaven	639	153	42	14	2
Brunsbüttel	665	277	37	7	.
Büsum	694	80	33	12	3
Deuselbach	375	296	60	16	1
Düsseldorf (Flughafen)	490	283	50	9	.
Emden	654	262	44	6	1
Essen	499	242	48	7	.
Feldberg/Schwarzwald	271	138	26	8	5
Friedrichshafen	169	429	42	11	1
Garmisch-Partenkirchen	82	547	1	.	.
Geisenheim	337	474	28	3	.
Gießen (Liebigsh.)	346	473	26	2	.
Göttingen	397	487	11	1	.
Hallig Hooge	748	69	33	13	2
Hamburg-Fuhlsbüttel	620	215	48	9	.
Hannover-Langenhagen	499	263	50	12	1
Hof-Hohensaas	245	329	53	13	1
Hohenpeißenberg	61	254	45	15	5
Husum	722	240	41	6	.
Kahler Asten	408	82	57	19	2
Karlsruhe	257	480	47	9	.
Kempton	108	556	13	1	.
Kiel	696	276	36	4	.
Kl.Feldberg/Ts	328	149	64	14	1
Klippeneck	214	311	49	11	1
List/Sylt	794	57	36	14	2
Mannheim	276	492	22	1	.
Marienberg	388	217	58	7	.
Memmingen	110	422	67	22	3
Mühdorf/Inn	65	539	16	1	.
München-Riem	-	-	-	-	-
Norderney	693	44	32	12	4
Nürnberg (Flughafen)	155	479	42	9	.
Öhringen	197	505	31	3	.
Osnabrück	523	343	43	5	.
Passau	142	548	16	1	.
Regensburg	103	529	11	.	.
Saarbrücken-Ensheim	352	330	40	5	.
Schleswig	728	214	45	8	.
Selbach	369	316	39	5	.
Soltau	552	350	40	4	.
St.Peter	714	76	36	13	2
Stötten	145	249	61	22	4
Stuttgart-Echterd.	191	506	44	8	.
Ulm	129	501	18	1	.
Wahn	446	350	40	5	.
Wasserkuppe	290	149	52	13	2
Weiden	176	501	25	3	.
Weißenburg/Bayern	114	483	41	9	1
Wendelstein	55	212	34	14	5
Westermarkelsdorf	708	37	126	29	1
Wulfsdorf-Ahrensburg	623	326	38	4	.
Würzburg	225	431	45	7	.

Tab. 17: Mittlere jährliche Häufigkeit (°/oo) von ausgewählten Kombinationen der Windgeschwindigkeitsklassen zwischen Basisstation (B) und Sekundärstation (S)
 Zeitraum: 1969 bis 1974
 Basisstation: München-Riem

Sekundärstation	Entfernung	B1 S4	B1 S5	B3 S4	B3 S5	B4 S5	B5 S1
Ahlhorn	584	8	.	10	.	.	.
Berus	384	20	3	25	4	6	.
Braunlage	404	2	.	4	.	.	1
Braunschweig	468	5	.	10	.	1	1
Bremen (Flughafen)	580	20	.	21	2	2	.
Bremerhaven	639	43	3	35	8	5	.
Brunsbüttel	665	25	2	14	1	1	1
Büsum	694	136	35	38	23	11	.
Deuselbach	375	22	2	19	1	1	.
Düsseldorf (Flughafen)	490	17	.	12	1	1	.
Emden	652	15	5	10	2	1	.
Essen	499	19	1	6	.	.	.
Feldberg/Schwarzwald	271	128	82	40	43	27	.
Friedrichshafen	169	3	.	12	.	1	.
Garmisch-Partenkirchen	82	.	.	.	.	.	4
Geisenheim	337	1	.	3	.	.	1
Gießen (Liebigsh.)	346	.	.	1	.	.	.
Göttingen	397	.	.	.	.	.	1
Hallig Hooge	747	148	48	42	24	11	.
Hamburg-Fuhlsbüttel	620	21	.	20	1	1	.
Hannover-Langenhagen	499	12	.	20	1	1	1
Hof-Hohensaas	245	5	.	18	.	1	.
Hohenpeißenberg	61	27	2	52	11	20	.
Husum	722	19	2	11	.	.	1
Kahler Asten	408	56	2	41	4	7	.
Karlsruhe	257	1	.	6	.	.	.
Kempten	108	.	.	.	.	.	.
Kiel	696	11	2	7	.	.	1
Kl.Feldberg/Ts	328	39	2	19	1	1	.
Klippeneck	214	18	1	9	1	1	.
List/Sylt	794	155	35	42	20	9	.
Mannheim	276	.	.	.	.	1	.
Marienberg	388	19	1	10	1	.	.
Memmingen	110	2	.	19	1	3	.
Mühldorf/Inn	65	1	.	2	.	.	.
München-Riem	-	-	-	-	-	-	-
Norderney	693	142	24	45	29	16	.
Nürnberg (Flughafen)	155	.	.	7	.	.	.
Öhringen	197	.	.	1	.	.	.
Osnabrück	523	3	.	5	.	.	.
Passau	142	1	.	.	.	.	1
Regensburg	103	.	.	1	.	.	.
Saarbrücken-Ensheim	352	2	.	5	.	.	.
Schleswig	728	22	1	16	1	1	.
Selbach	369	4	.	6	.	.	.
Soltau	552	2	.	5	.	.	1
St. Peter	714	117	31	39	21	10	.
Stötten	145	11	1	41	4	10	.
Stuttgart-Echterd.	191	1	.	5	.	.	.
Ulm	129	.	.	.	.	.	.
Wahn	446	4	.	4	.	.	.
Wasserkuppe	290	67	13	31	9	6	.
Weiden	176	2	.	2	.	.	.
Weißenburg/Bayern	114	4	.	4	.	.	.
Wendelstein	55	62	18	48	20	17	.
Westermarkelsdorf	708	111	21	38	18	9	.
Wulfsdorf-Ahrensburg	623	3	.	5	.	.	.
Würzburg	225	2	.	6	.	.	.

Tab. 18: Mittlere jährliche Häufigkeit (°/oo) von ausgewählten Kombinationen der Windgeschwindigkeitsklassen zwischen zwei Basisstationen (A, B) und einer Sekundärstation (S)
 Zeitraum 1969 bis 1974
 1. Basisstation (A): Hallig Hooge
 2. Basisstation (B): List/Sylt

Sekundärstation	A1 B1 S1	A1 B1 S5	A1 B4 S4	A1 B5 S5	A3 B3 S3
Ahlhorn	43	.	.	.	30
Berus	22	.	.	.	47
Braunlage	41	.	.	.	20
Braunschweig	42	.	.	.	28
Bremen (Flugh.)	43	.	.	.	43
Bremerhaven	38	.	.	.	60
Brunsbüttel	51	.	.	.	29
Büsum	40	.	.	.	129
Deuselbach	28	.	.	.	48
Düsseldorf (Flugh.)	39	.	.	.	47
Emden	43	.	.	.	30
Essen	33	.	.	.	43
Feldberg/Schw.	12	11	.	.	53
Friedrichshafen	36	.	.	.	21
Garmisch-Partenk.	54	.	.	.	1
Geisenheim	44	.	.	.	13
Gießen (Liebigsh.)	48	.	.	.	9
Göttingen	53	.	.	.	3
Hallig Hooge	-	-	-	-	-
Hamburg-Fuhlsb.	46	.	.	.	45
Hannover-Langenh.	41	.	.	.	39
Hof-Hohensaas	35	.	.	.	35
Hohenpeißenberg	18	1	.	.	52
Husum	56	.	.	.	25
Kahler Asten	13	.	.	.	94
Karlsruhe	43	.	.	.	19
Kempten	52	.	.	.	4
Kiel	52	.	.	.	21
Kl. Feldberg/Ts.	15	.	.	.	74
Klippeneck	26	.	.	.	41
List/Sylt	-	-	-	-	-
Mannheim	47	.	.	.	8
Marienberg	23	.	.	.	50
Memmingen	34	.	.	.	29
Mühldorf/Inn	48	.	.	.	9
München-Riem	37	.	.	.	20
Norderney	16	.	.	.	126
Nürnberg (Flugh.)	45	.	.	.	16
Öhringen	44	.	.	.	12
Osnabrück	46	.	.	.	18
Passau	51	.	.	.	6
Regensburg	48	.	.	.	5
Saarbrücken-Ensheim	30	.	.	.	28
Schleswig	51	.	.	.	37
Selbach	27	.	.	.	29
Soltau	50	.	.	.	13
St. Peter	44	.	.	.	146
Stötten	19	.	.	.	49
Stuttgart-Echterd.	43	.	.	.	16
Ulm	46	.	.	.	8
Wahn	42	.	.	.	29
Wasserkuppe	19	.	.	.	67
Weiden	48	.	.	.	9
Weißenburg/Bay.	44	.	.	.	15
Wendelstein	20	2	.	.	51
Westermarkelsdorf	28	.	.	.	96
Wulfsdorf-Ahrensburg	51	.	.	.	13
Würzburg	42	.	.	.	21

Tab. 19: Mittlere jährliche Häufigkeit ($^{\circ}/\infty$) von ausgewählten Kombinationen der Windgeschwindigkeitsklassen zwischen zwei Basisstationen (A, B) und einer Sekundärstation (S)
 Zeitraum 1969 bis 1974
 1. Basisstation (A): Hallig Hooge
 2. Basisstation (B): List/Sylt

Sekundärstation	A4	B1	S5	A4	B4	S1	A4	B4	S4	A5	B1	S1	A5	B5	S5
Ahlhorn	.	.	.	31	.	.	7	.	.	.	.	.	.	.	1
Berus	.	.	.	55	.	.	20	.	.	.	.	.	.	.	5
Braunlage	.	.	.	77	.	.	3	.	.	.	.	.	.	.	.
Braunschweig	.	.	.	44	.	.	6	.	.	.	.	.	.	.	1
Bremen (Flugh.)	.	.	.	22	.	.	16	.	.	.	.	.	.	.	4
Bremerhaven	.	.	.	4	.	.	46	.	.	.	.	.	.	.	16
Brunsbüttel	.	.	.	30	.	.	16	.	.	.	.	.	.	.	4
Büsum	.	.	.	1	.	.	123	.	.	.	.	.	.	.	54
Deuselbach	.	.	.	64	.	.	19	.	.	.	.	.	.	.	2
Düsseldorf (Flugh.)	.	.	.	55	.	.	13	.	.	.	.	.	.	.	1
Emden	.	.	.	28	.	.	12	.	.	.	.	.	.	.	6
Essen	.	.	.	47	.	.	12	.	.	.	.	.	.	.	1
Feldberg/Schw.	.	.	.	33	.	.	47	.	.	.	.	.	.	.	30
Friedrichshafen	.	.	.	119	.	.	8	.	.	.	.	.	.	.	1
Garmisch-Partenk.	.	.	.	181	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Geisenheim	.	.	.	126	.	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.
Gießen (Liebigsh.)	.	.	.	116	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.
Göttingen	.	.	.	128	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Hallig Hooge	-	.	.	-	.	.	-	.	.	-	.	.	-	.	-
Hamburg-Fuhlsb.	.	.	.	15	.	.	16	.	.	.	.	.	.	.	2
Hannover-Langenh.	.	.	.	31	.	.	14	.	.	.	.	.	.	.	2
Hof-Hohensaas	.	.	.	64	.	.	12	.	.	.	.	.	.	.	1
Hohenpeißenberg	.	.	.	56	.	.	30	.	.	.	.	.	.	.	10
Husum	.	.	.	10	.	.	9	.	.	.	.	.	.	.	4
Kahler Asten	.	.	.	11	.	.	43	.	.	.	.	.	.	.	8
Karlsruhe	.	.	.	112	.	.	6	.	.	.	.	.	.	.	.
Kempten	.	.	.	152	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Kiel	.	.	.	26	.	.	7	.	.	.	.	.	.	.	3
Kl. Feldberg/Ts.	.	.	.	30	.	.	21	.	.	.	.	.	.	.	2
Klippeneck	.	.	.	86	.	.	10	.	.	.	.	.	.	.	1
List/Sylt	-	.	.	-	.	.	-	.	.	-	.	.	-	.	-
Mannheim	.	.	.	126	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.
Marienberg	.	.	.	47	.	.	13	.	.	.	.	.	.	.	1
Memmingen	.	.	.	94	.	.	13	.	.	.	.	.	.	.	2
Mühlendorf/Inn	.	.	.	142	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.
München-Riem	.	.	.	106	.	.	9	.	.	.	.	.	.	.	2
Norderney	.	.	.	1	.	.	109	.	.	.	.	.	.	.	45
Nürnberg (Flugh.)	.	.	.	112	.	.	5	.	.	.	.	.	.	.	.
Öhringen	.	.	.	131	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.
Osnabrück	.	.	.	58	.	.	3	.	.	.	.	.	.	.	.
Passau	.	.	.	152	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.
Regensburg	.	.	.	145	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.
Saarbrücken-Ensh.	.	.	.	88	.	.	5	.	.	.	.	.	.	.	.
Schleswig	.	.	.	8	.	.	13	.	.	.	.	.	.	.	4
Selbach	.	.	.	87	.	.	6	.	.	.	.	.	.	.	.
Soltau	.	.	.	53	.	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.
St. Peter	123	.	.	.	.	.	.	.	52
Stötten	.	.	.	51	.	.	21	.	.	.	.	.	.	.	6
Stuttgart-Echterd.	.	.	.	122	.	.	5	.	.	.	.	.	.	.	.
Ulm	.	.	.	127	.	.	1	.	.	.	.	.	.	.	.
Wahn	.	.	.	79	.	.	5	.	.	.	.	.	.	.	.
Wasserkuppe	.	.	.	26	.	.	40	.	.	.	.	.	.	.	13
Weiden	.	.	.	127	.	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.
Weißenburg/Bay.	.	.	.	112	.	.	5	.	.	.	.	.	.	.	.
Wendelstein	.	.	.	43	.	.	43	.	.	.	.	.	.	.	15
Westermarkelsdorf	.	.	.	4	.	.	86	.	.	.	.	.	.	.	35
Wulfsdorf-Ahrensburg	.	.	.	43	.	.	2	.	.	.	.	.	.	.	.
Würzburg	.	.	.	93	.	.	7	.	.	.	.	.	.	.	.

Tab. 20: Mittlere jährliche Häufigkeit (‰) von ausgewählten Kombinationen der Windgeschwindigkeitsklassen zwischen zwei Basisstationen (A, B) und einer Sekundärstation (S)
 Zeitraum 1969 bis 1974

1. Basisstation (A): Hallig Hooge
 2. Basisstation (B): Kahler Asten

Sekundärstation	A1	B1	S1	A1	B1	S5	A1	B4	S4	A1	B5	S5	A3	B3	S3
Ahlhorn		21		.			.			.					25
Berus		15		.			.	2		.					39
Braunlage		21		.			.			.					17
Braunschweig		20		.			.			.					23
Bremen (Flugh.)		21		.			.	1		.					37
Bremerhaven		18		.			.			.					45
Brunsbüttel		22		.			.			.					22
Büsum		17		.			.			.					79
Deuselbach		17		.			.	1		.					42
Düsseldorf (Flugh.)		20		.			.			.					40
Emden		20		.			.			.					21
Essen		20		.			.			.					36
Feldberg/Schw.		8			2		.	1		.					34
Friedrichshafen		18		.			.	1		.	1				16
Garmisch-Partenk.		22		.			.			.					.
Geisenheim		22		.			.			.					11
Gießen (Liebigsh.)		24		.			.			.					10
Göttingen		24		.			.			.					2
Hallig Hooge		-		-			-			-					-
Hamburg-Fuhlsb.		19		.			.			.					36
Hannover-Langenh.		20		.			.	1		.					33
Hof-Hohensaas		18		.			.			.					30
Hohenpeißenberg		11		.			.	1		.					39
Husum		22		.			.			.					19
Kahler Asten		-		-			-			-					-
Karlsruhe		21		.			.			.					14
Kempton		23		.			.			.					3
Kiel		21		.			.			.					14
Kl. Feldberg/Ts.		14		.			.	2		.					64
Klippeneck		15		.			.	1		.					27
List/Sylt		13		.			.			.					94
Mannheim		23		.			.			.					5
Marienberg		18		.			.	1		.					43
Memmingen		16		.			.	1		.					23
Mühlendorf/Inn		22		.			.			.					7
München-Riem		18		.			.	1		.					17
Norderney		9		.			.	1		.	1				80
Nürnberg (Flugh.)		21		.			.			.					13
Öhringen		21		.			.			.					8
Osnabrück		22		.			.			.					15
Passau		23		.			.			.					4
Regensburg		22		.			.			.					3
Saarbrücken-Ensheim		17		.			.			.					22
Schleswig		20		.			.			.					24
Selbach		16		.			.	1		.					23
Soltau		23		.			.			.					12
St. Peter		18		.			.			.					88
Stötten		12		.			.	2		.					41
Stuttgart-Echterd.		21		.			.			.					13
Ulm		21		.			.			.					5
Wahn		22		.			.			.					24
Wasserkuppe		16		.			.	2		.					61
Weiden		22		.			.			.					7
Weißenburg/Bay.		21		.			.			.					12
Wendelstein		11		.			.	2		.					38
Westermarkelsdorf		12		.			.	1		.					58
Wulfsdorf-Ahrensburg		22		.			.			.					10
Würzburg		22		.			.			.					17

Tab. 21: Mittlere jährliche Häufigkeit (‰) von ausgewählten Kombinationen der Windgeschwindigkeitsklassen zwischen zwei Basisstationen (A, B) und einer Sekundärstation (S)
 Zeitraum 1969 bis 1974
 1. Basisstation (A): Hallig Hooge
 2. Basisstation (B): Kahler Asten

Sekundärstation	A4 B1 S5	A4 B4 S1	A4 B4 S4	A5 B1 S1	A5 B5 S5
Ahlhorn	.	2	4	.	.
Berus	.	6	17	1	3
Braunlage	.	10	2	2	.
Braunschweig	.	5	5	.	1
Bremen (Flugh.)	.	1	13	.	2
Bremerhaven	.	1	23	.	5
Brunsbüttel	.	6	11	.	1
Büsum	.	.	37	.	8
Deuselbach	.	7	16	2	1
Düsseldorf (Flugh.)	.	4	12	2	1
Emden	.	4	5	.	1
Essen	.	3	9	2	.
Feldberg/Schw.	2	4	15	.	8
Friedrichshafen	.	30	5	2	.
Garmisch-Partenk.	.	57	.	3	.
Geisenheim	.	27	1	2	.
Gießen (Liebigsh.)	.	17	1	3	.
Göttingen	.	22	.	3	.
Hallig Hooge	-	-	-	-	-
Hamburg-Fuhlsb.	.	2	10	.	1
Hannover-Langenh.	.	2	11	.	1
Hof-Hohensaas	.	6	9	2	1
Hohenpeißenberg	.	10	16	1	4
Husum	.	2	4	.	.
Kahler Asten	-	-	-	-	-
Karlsruhe	.	20	5	2	.
Kempten	.	37	.	2	.
Kiel	.	6	2	.	.
Kl. Feldberg/Ts.	.	.	17	2	1
Klippeneck	.	13	7	1	1
List/Sylt	.	.	43	.	8
Mannheim	.	22	1	2	.
Marienberg	.	2	8	2	1
Memmingen	.	18	10	1	1
Mühlendorf/Inn	.	36	1	2	.
München-Riem	.	20	7	1	1
Norderney	1	.	35	.	8
Nürnberg(Flugh.)	.	22	3	2	.
Öhringen	.	27	1	2	.
Osnabrück	.	5	2	1	.
Passau	.	40	1	2	.
Regensburg	.	34	.	2	.
Saarbrücken-Ensheim	.	12	4	2	.
Schleswig	.	2	7	.	1
Selbach	.	13	5	2	.
Soltau	.	6	2	1	.
St. Peter	.	.	36	.	8
Stötten	.	6	16	1	3
Stuttgart-Echterd.	.	25	4	2	.
Ulm	.	26	.	2	.
Wahn	.	8	4	2	.
Wasserkuppe	.	1	25	2	5
Weiden	.	26	1	2	.
Weißenburg/Bay.	.	19	3	2	.
Wendelstein	.	6	20	1	5
Westermarkelsdorf	1	1	26	.	5
Wulfsdorf-Ahrensburg	.	7	2	.	.
Würzburg	.	13	5	2	.

Tab. 22: Mittlere jährliche Häufigkeit (°/oo) von ausgewählten Kombinationen der Windgeschwindigkeitsklassen zwischen zwei Basisstationen (A, B) und einer Sekundärstation (S)
 Zeitraum 1969 bis 1974
 1. Basisstation (A): Emden
 2. Basisstation (B): Helgoland

Sekundärstation	A1	B1	S1	A1	B1	S5	A1	B4	S4	A1	B5	S5	A3	B3	S3
Ahlhorn		71		.			.			.					26
Berus		34		.			2			.					18
Braunlage		62		.			.			.					14
Braunschweig		65		.			.			.					22
Bremen (Flugh.)		70		.			.			.					29
Bremerhaven		63		.			1			.					27
Brunsbüttel		76		.			.			.					17
Büsum		52		.			11			.					26
Deuselbach		44		.			2			.					22
Düsseldorf (Flugh.)		59		.			1			.					20
Emden		-		-			-			-					-
Essen		51		.			2			.					19
Feldberg/Schw.		19		12			10			.					14
Friedrichshafen		53		.			1			.					10
Garmisch-Partenk.		76		.			.			.					.
Geisenheim		66		.			.			.					9
Gießen (Liebigsh.)		73		.			.			.					8
Göttingen		77		.			.			.					3
Hallig Hooge		46		.			17			.					26
Hamburg-Fuhlsb.		66		.			.			.					27
Hannover-Langenh.		66		.			.			.					25
Hof-Hohensaas		54		.			1			.					18
Hohenpeißenberg		28		2			4			.					14
Husum		72		.			.			.					21
Kahler Asten		22		.			5			.					30
Karlsruhe		64		.			.			.					11
Kempten		75		.			.			.					3
Kiel		69		.			.			.					15
Kl. Feldberg/Ts.		24		.			4			.					24
Klippeneck		39		.			2			.					12
List/Sylt		34		.			17			.					26
Mannheim		69		.			.			.					6
Marienberg		37		.			2			.					20
Memmingen		53		.			1			.					14
Mühldorf/Inn		69		.			.			.					5
München-Riem		56		.			1			.					11
Norderney		36		.			9			.					24
Nürnberg (Flugh.)		65		.			.			.					12
Öhringen		66		.			.			.					7
Osnabrück		72		.			.			.					14
Passau		73		.			.			.					4
Regensburg		70		.			.			.					3
Saarbrücken-Ensheim		45		.			.			.					12
Schleswig		62		.			1			.					24
Selbach		42		.			.			.					12
Soltau		75		.			.			.					15
St. Peter		49		.			8			.					28
Stötten		30		.			3			.					17
Stuttgart-Echterd.		65		.			.			.					10
Ulm		65		.			.			.					4
Wahn		63		.			.			.					14
Wasserkuppe		29		1			5			.					23
Weiden		71		.			.			.					7
Weißenburg/Bay.		64		.			1			.					9
Wendelstein		31		2			6			.					14
Westermarkelsdorf		30		.			9			.					24
Wulfsdorf-Ahrensburg		74		.			.			.					14
Würzburg		62		.			.			.					12

Tab. 23: Mittlere jährliche Häufigkeit (‰) von ausgewählten Kombinationen der Windgeschwindigkeitsklassen zwischen zwei Basisstationen (A, B) und einer Sekundärstation (S)
 Zeitraum 1969 bis 1974
 1. Basisstation (A): Emden
 2. Basisstation (B): Helgoland

Sekundärstation	A4 B1 S5	A4 B4 S1	A4 B4 S4	A5 B1 S1	A5 B5 S5
Ahlhorn	.	1	3	.	.
Berus	.	3	3	.	1
Braunlage	.	4	1	.	.
Braunschweig	.	2	2	.	.
Bremen (Flugh.)	.	1	4	.	1
Bremerhaven	.	.	6	.	2
Brunsbüttel	.	1	3	.	1
Büsum	.	.	10	.	6
Deuselbach	.	3	3	.	.
Düsseldorf (Flugh.)	.	2	3	.	.
Emden	-	-	-	-	-
Essen	.	2	2	.	.
Feldberg/Schw.	.	2	5	.	5
Friedrichshafen	.	9	1	.	.
Garmisch-Partenk.	.	16	.	.	.
Geisenheim	.	9	1	.	.
Gießen (Liebigsh.)	.	8	1	.	.
Göttingen	.	7	.	.	.
Hallig Hooge	.	.	10	.	7
Hamburg-Fuhlsb.	.	1	3	.	.
Hannover-Langenh.	.	1	3	.	.
Hof-Hohensaas	.	4	2	.	.
Hohenpeißenberg	.	3	4	.	2
Husum	.	1	4	.	1
Kahler Asten	.	.	6	.	2
Karlsruhe	.	8	1	.	.
Kempton	.	12	.	.	.
Kiel	.	3	2	.	.
Kl. Feldberg/Ts.	.	1	3	.	.
Klippeneck	.	5	1	.	.
List/Sylt	.	.	11	.	5
Mannheim	.	9	.	.	.
Marienberg	.	3	2	.	.
Memmingen	.	5	2	.	1
Mühldorf/Inn	.	11	.	.	.
München-Riem	.	7	2	.	1
Norderney	.	.	11	1	5
Nürnberg (Flugh.)	.	8	2	.	.
Öhringen	.	10	.	.	.
Osnabrück	.	1	1	.	.
Passau	.	11	.	.	.
Regensburg	.	13	.	.	.
Saarbrücken-Ensheim	.	6	1	.	.
Schleswig	.	1	4	.	.
Selbach	.	7	1	.	.
Soltau	.	2	1	.	.
St. Peter	.	.	10	.	6
Stötten	.	3	3	.	1
Stuttgart-Echterd.	.	9	1	.	.
Ulm	.	10	.	.	.
Wahn	.	5	1	.	.
Wasserkuppe	.	1	6	.	2
Weiden	.	8	.	.	.
Weißenburg/Bay.	.	7	1	.	.
Wendelstein	.	3	6	.	2
Westermarkelsdorf	.	.	8	.	2
Wulfsdorf-Ahrensburg	.	3	1	.	.
Würzburg	.	6	1	.	.

Tab. 24: Mittlere jährliche Häufigkeit (‰) von ausgewählten Kombinationen der Windgeschwindigkeitsklassen zwischen zwei Basisstationen (A, B) und einer Sekundärstation (S)
Zeitraum 1969 bis 1974

1. Basisstation (A): Hannover-Langenhagen
2. Basisstation (B): Kahler Asten

Sekundärstation	A1	B1	S1	A1	B1	S5	A1	B4	S4	A1	B5	S5	A3	B3	S3
Ahlhorn		67		.			.			.					71
Berus		46		.			2			.					44
Braunlage		70		.			.			.					33
Braunschweig		69		.			.			.					66
Bremen (Flugh.)		64		.			.			.					90
Bremerhaven		45		.			.			.					62
Brunsbüttel		58		.			.			.					49
Büsum		26		.			2			.					35
Deuselbach		58		.			1			.					50
Düsseldorf (Flugh.)		65		.			.			.					54
Emden		57		.			.			.					49
Essen		61		.			.			.					41
Feldberg/Schw.		24			7		2			.					29
Friedrichshafen		55		.			.			.					19
Garmisch-Partenk.		72		.			.			.					.
Geisenheim		71		.			.			.					16
Gießen (Liebigsh.)		77		.			.			.					15
Göttingen		78		.			.			.					4
Hallig Hooge		20		.			2			.					33
Hamburg-Fuhlsb.		53		.			.			.					78
Hannover-Langenh.		-		-			-			-					-
Hof-Hohensaas		61		.			1			1					49
Hohenpeißenberg		35		.			2			.					36
Husum		52		.			.			.					57
Kahler Asten		-		-			-			-					-
Karlsruhe		67		.			.			.					23
Kempten		74		.			.			.					5
Kiel		56		.			.			.					47
Kl. Feldberg/Ts.		47		.			4			.					64
Klippeneck		47		.			1			.					26
List/Sylt		16		.			2			.					36
Mannheim		74		.			.			.					9
Marienberg		59		.			1			1					49
Memmingen		54		.			1			.					30
Mühlendorf/Inn		71		.			.			.					10
München-Riem		60		.			1			.					24
Norderney		17		.			2			.					36
Nürnberg (Flugh.)		70		.			.			.					24
Öhringen		71		.			.			.					13
Osnabrück		74		.			.			.					44
Passau		74		.			.			.					7
Regensburg		73		.			.			.					5
Saarbrücken-Ensheim		55		.			.			.					25
Schleswig		46		.			.			.					63
Selbach		51		.			.			.					25
Soltau		74		.			.			.					47
St. Peter		23		.			1			.					42
Stötten		41		.			3			.					46
Stuttgart-Echterd.		68		.			.			.					20
Ulm		68		.			.			.					8
Wahn		69		.			.			.					33
Wasserkuppe		53		.			4			.					60
Weiden		73		.			.			.					14
Weißenburg/Bay.		71		.			.			.					19
Wendelstein		36			1		2			.					37
Westermarkelsdorf		23			1		1			.					45
Wulfsdorf-Ahrensburg		65		.			.			.					41
Würzburg		71		.			.			.					28

Tab. 25: Mittlere jährliche Häufigkeit (‰) von ausgewählten Kombinationen der Windgeschwindigkeitsklassen zwischen zwei Basisstationen (A, B) und einer Sekundärstation (S)
Zeitraum 1969 bis 1974

1. Basisstation (A): Hannover-Langenhagen
2. Basisstation (B): Kahler Asten

Sekundärstation	A4 B1 S5	A4 B4 S1	A4 B4 S4	A5 B1 S1	A5 B5 S5
Ahlhorn	.	.	13	.	.
Berus	.	1	14	.	1
Braunlage	.	1	4	.	.
Braunschweig	.	.	13	.	1
Bremen (Flugh.)	.	.	25	.	1
Bremerhaven	.	.	19	.	1
Brunsbüttel	.	1	13	.	.
Büsum	.	.	10	.	1
Deuselbach	.	1	15	.	1
Düsseldorf (Flugh.)	.	.	14	.	.
Emden
Essen	.	.	8	.	.
Feldberg/Schw.	.	2	9	1	2
Friedrichshafen	.	15	5	1	.
Garmisch-Partenk.	.	33	.	.	.
Geisenheim	.	8	2	.	.
Gießen (Liebigsh.)	.	3	2	.	.
Göttingen	.	3	.	.	.
Hallig Hooge	.	1	11	.	1
Hamburg-Fuhlsb.	.	1	20	.	1
Hannover-Langenh.	-	-	-	-	-
Hof-Hohensaas	.	.	13	.	1
Hohenpeißenberg	.	4	13	.	1
Husum	.	2	11	.	.
Kahler Asten	-	-	-	-	-
Karlsruhe	.	4	5	.	.
Kempten	.	17	.	.	.
Kiel	.	2	7	.	.
Kl. Feldberg/Ts.	.	.	14	.	1
Klippeneck	.	5	6	.	.
List/Sylt	.	.	13	.	1
Mannheim	.	7	1	.	.
Marienberg	.	.	8	.	.
Memmingen	.	5	8	.	1
Mühldorf/Inn	.	16	1	.	.
München-Riem	.	6	7	.	1
Norderney	.	.	11	.	2
Nürnberg (Flugh.)	.	6	5	.	.
Öhringen	.	9	2	.	.
Osnabrück	.	.	8	.	.
Passau	.	19	1	.	.
Regensburg	.	16	.	.	.
Saarbrücken-Ensheim	.	4	4	.	.
Schleswig	.	1	15	.	.
Selbach	.	4	5	.	.
Soltau	.	1	8	.	.
St. Peter	.	1	12	.	1
Stötten	.	1	14	.	1
Stuttgart-Echterd.	.	9	4	.	.
Ulm	.	9	1	.	.
Wahn	.	2	5	.	.
Wasserkuppe	.	.	16	.	1
Weiden	.	7	2	.	.
Weißenberg/Bay.	.	5	4	.	.
Wendelstein	.	2	12	.	1
Westermarkelsdorf	.	1	15	.	1
Wulfsdorf-Ahrensburg	.	1	6	.	.
Würzburg	.	3	6	.	.

Tab. 26: Mittlere jährliche Häufigkeit (°/oo) von ausgewählten Kombinationen der Windgeschwindigkeitsklassen zwischen zwei Basisstationen (A, B) und einer Sekundärstation (S)
 Zeitraum 1969 bis 1974

1. Basisstation (A): Kl. Feldberg/Ts.
 2. Basisstation (B): Wasserkuppe

Sekundärstation	A1 B1 S1	A1 B1 S5	A1 B4 S4	A1 B5 S5	A3 B3 S3
Ahlhorn	67	.	.	.	51
Berus	70	.	.	.	60
Braunlage	84	.	.	.	33
Braunschweig	71	.	.	.	46
Bremen (Flugh.)	62	.	.	.	58
Bremerhaven	40	.	1	.	51
Brunsbüttel	60	.	.	.	40
Büsum	22	1	1	.	48
Deuselbach	81	.	.	.	64
Düsseldorf (Flugh.)	75	.	.	.	57
Emden	59	.	.	.	44
Essen	70	.	.	.	51
Feldberg/Schw.	38	7	1	.	37
Friedrichshafen	76	.	.	.	25
Garmisch-Partenk.	95	.	.	.	.
Geisenheim	96	.	.	.	21
Gießen (Liebigsh.)	100	.	.	.	16
Göttingen	100	.	.	.	6
Hallig Hooge	18	2	1	.	48
Hamburg-Fuhlsb.	51	.	.	.	56
Hannover-Langenh.	68	.	.	.	54
Hof-Hohensaas	83	.	.	.	49
Hohenpeißenberg	52	1	1	.	46
Husum	54	.	.	.	45
Kahler Asten	51	.	.	.	99
Karlsruhe	90	.	.	.	25
Kempton	97	.	.	.	7
Kiel	57	.	.	.	37
Kl. Feldberg/Ts.	-	-	-	-	-
Klippeneck	69	.	.	.	40
List/Sylt	15	1	1	.	51
Mannheim	100	.	.	.	11
Marienberg	76	.	.	.	66
Memmingen	74	.	.	.	36
Mühlendorf/Inn	96	.	.	.	13
München-Riem	81	.	.	.	30
Norderney	13	1	1	.	54
Nürnberg (Flugh.)	94	.	.	.	26
Öhringen	98	.	.	.	19
Osnabrück	83	.	.	.	38
Passau	99	.	.	.	9
Regensburg	97	.	.	.	6
Saarbrücken-Ensheim	82	.	.	.	33
Schleswig	46	.	.	.	47
Selbach	77	.	.	.	34
Soltau	80	.	.	.	35
St. Peter	20	1	1	.	52
Stötten	62	.	.	.	58
Stuttgart-Echterd.	93	.	.	.	24
Ulm	91	.	.	.	10
Wahn	85	.	.	.	38
Wasserkuppe	-	-	-	-	-
Weiden	98	.	.	.	16
Weißenburg/Bay.	96	.	.	.	23
Wendelstein	47	1	1	.	42
Westermarkelsdorf	23	2	1	.	49
Wulfsdorf-Ahrensburg	69	.	.	.	33
Würzburg	95	.	.	.	29

Tab. 27: Mittlere jährliche Häufigkeit (°/oo) von ausgewählten Kombinationen der Windgeschwindigkeitsklassen zwischen zwei Basisstationen (A, B) und einer Sekundärstation (S)
 Zeitraum 1969 bis 1974

1. Basisstation (A): Kl. Feldberg/Ts.
 2. Basisstation (B): Wasserkuppe

Sekundärstation	A4 B1 S5	A4 B4 S1	A4 B4 S4	A5 B1 S1	A5 B5 S5
Ahlhorn	.	6	6	.	.
Berus	.	2	13	.	1
Braunlage	.	10	3	.	.
Braunschweig	.	8	6	.	.
Bremen (Flugh.)	.	5	10	.	1
Bremerhaven	.	4	9	.	1
Brunsbüttel	.	11	7	.	.
Büsum	.	3	11	.	1
Deuselbach	.	3	14	.	1
Düsseldorf (Flugh.)	.	6	8	.	.
Emden	.	8	5	.	.
Essen	.	2	7	.	.
Feldberg/Schw.	.	3	10	.	2
Friedrichshafen	.	16	4	.	.
Garmisch-Partenk.	.	37	.	.	.
Geisenheim	.	13	2	.	.
Gießen (Liebigsh.)	.	13	1	.	.
Göttingen	.	18	.	.	.
Hallig Hooge	.	3	13	.	1
Hamburg-Fuhlb.	.	7	8	.	.
Hannover-Langenh.	.	6	9	.	.
Hof-Hohensaas	.	6	8	.	.
Hohenpeißenberg	.	6	10	.	1
Husum	.	10	6	.	.
Kahler Asten	.	.	22	.	1
Karlsruhe	.	15	4	.	.
Kempton	.	26	.	.	.
Kiel	.	11	4	.	.
Kl. Feldberg/Ts.	-	-	-	-	-
Klippeneck	.	6	7	.	.
List/Sylt	.	3	13	.	1
Mannheim	.	15	.	.	.
Marienberg	.	.	10	.	.
Memmingen	.	11	7	.	.
Mühldorf/Inn	.	18	2	.	.
München-Riem	.	13	7	.	.
Norderney	.	.	13	.	1
Nürnberg (Flugh.)	.	12	5	.	.
Öhringen	.	13	2	.	.
Osnabrück	.	8	4	.	.
Passau	.	23	1	.	.
Regensburg	.	21	.	.	.
Saarbrücken-Ensheim	.	4	4	.	.
Schleswig	.	10	6	.	.
Selbach	.	4	4	.	.
Soltau	.	10	3	.	.
St. Peter	.	3	11	.	1
Stötten	.	2	14	.	1
Stuttgart-Echterd.	.	16	3	.	.
Ulm	.	16	.	.	.
Wahn	.	8	4	.	.
Wasserkuppe	-	-	-	-	-
Weiden	.	15	3	.	.
Weißenburg/Bay.	.	11	5	.	.
Wendelstein	.	6	10	.	1
Westermarkelsdorf	.	4	10	.	1
Wulfsdorf-Ahrensburg	.	12	3	.	.
Würzburg	.	9	4	.	.

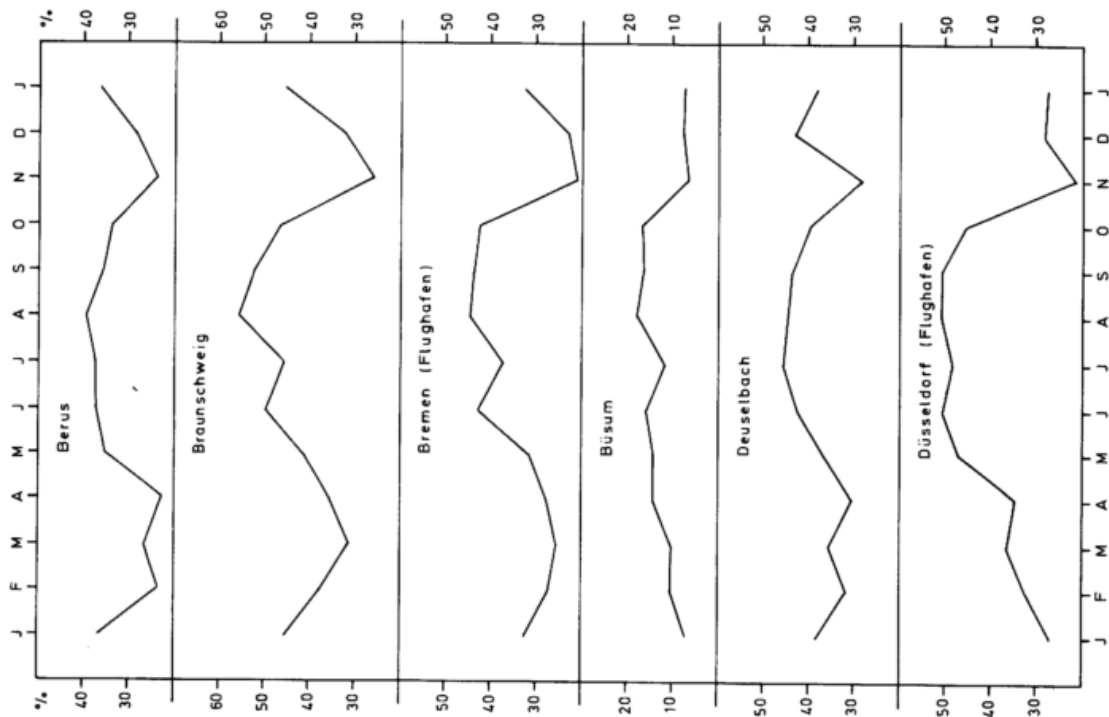
Tab. 28: Mittlere jährliche Häufigkeit (°/oo) von ausgewählten Kombinationen der Windgeschwindigkeitsklassen zwischen zwei Basisstationen (A, B) und einer Sekundärstation (S)
 Zeitraum 1969 bis 1974
 1. Basisstation (A): München-Riem
 2. Basisstation (B): Wendelstein

Sekundärstation	A1 B1 S1	A1 B1 S5	A1 B4 S4	A1 B5 S5	A3 B3 S3
Ahlhorn	108	.	2	.	13
Berus	98	.	5	1	14
Braunlage	135	.	.	.	10
Braunschweig	122	.	1	.	14
Bremen (Flugh.)	96	.	4	.	13
Bremerhaven	64	.	7	.	12
Brunsbüttel	109	.	4	.	10
Büsum	36	8	19	3	9
Deuselbach	116	.	5	.	16
Düsseldorf (Flugh.)	116	.	4	.	13
Emden	101	1	2	.	12
Essen	102	.	4	.	12
Feldberg/Schw.	63	22	17	7	8
Friedrichshafen	153	.	.	.	11
Garmisch-Partenk.	191	.	.	.	.
Geisenheim	175	.	.	.	7
Gießen (Liebigsh.)	179	.	.	.	6
Göttingen	182	.	.	.	3
Hallig Hooge	30	12	20	3	10
Hamburg-Fuhlsbüttel	86	.	4	.	13
Hannover-Langenh.	108	.	2	.	14
Hof-Hohensaas	134	.	1	.	13
Hohenpeißenberg	117	.	9	1	16
Husum	95	1	4	.	11
Kahler Asten	42	.	13	.	17
Karlsruhe	181	.	.	.	11
Kempten	206	.	.	.	2
Kiel	106	1	2	.	10
Kl. Feldberg/Ts.	70	.	7	.	16
Klippeneck	123	.	2	.	10
List/Sylt	24	8	20	2	10
Mannheim	184	.	.	.	5
Marienberg	85	.	3	.	15
Memmingen	162	.	1	.	18
Mühlendorf/Inn	201	.	.	.	4
München-Riem	-	-	-	-	-
Norderney	21	5	21	2	10
Nürnberg (Flugh.)	181	.	.	.	11
Öhringen	186	.	.	.	7
Osnabrück	137	.	1	.	11
Passau	203	.	.	.	3
Regensburg	196	.	.	.	3
Saarbrücken-Ensheim	123	.	1	.	9
Schleswig	83	.	3	.	12
Selbach	113	.	1	.	9
Soltau	137	.	.	.	11
St. Peter	33	7	16	1	10
Stötten	108	.	2	.	18
Stuttgart-Echterd.	187	.	.	.	11
Ulm	188	.	.	.	4
Wahn	139	.	1	.	10
Wasserkuppe	67	1	14	3	14
Weiden	187	.	1	.	6
Weißenburg/Bay.	188	.	1	.	9
Wendelstein	-	-	-	-	-
Westermarkelsdorf	40	4	14	1	10
Wulfsdorf-Ahrensburg	127	.	.	.	10
Würzburg	166	.	.	.	11

Tab. 29: Mittlere jährliche Häufigkeit (‰) von ausgewählten Kombinationen der Windgeschwindigkeitsklassen zwischen zwei Basisstationen (A, B) und einer Sekundärstation (S)
 Zeitraum 1969 bis 1974
 1. Basisstation (A): München-Riem
 2. Basisstation (B): Wendelstein

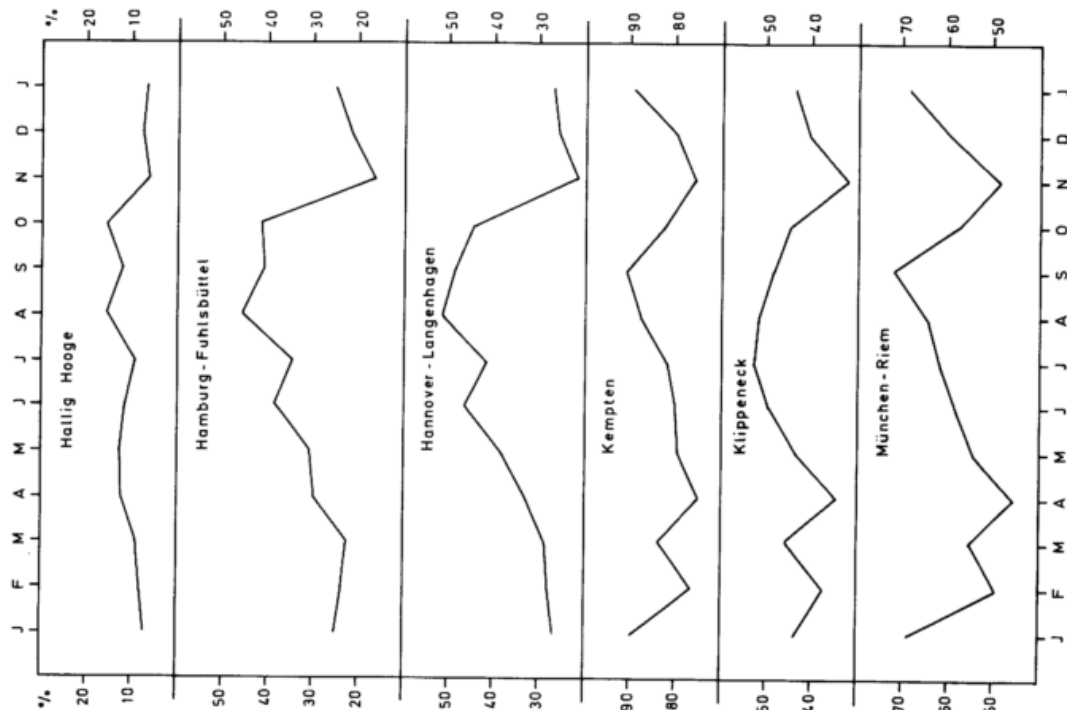
Sekundärstation	A4 B1 S5	A4 B4 S1	A4 B4 S4	A5 B1 S1	A5 B5 S5
Ahlhorn	.	2	2	.	.
Berus	.	.	5	.	2
Braunlage	.	2	1	.	.
Braunschweig	.	2	2	.	.
Bremen (Flugh.)	.	2	4	.	1
Bremerhaven	.	1	5	.	2
Brunsbüttel	.	3	2	.	.
Büsum	.	1	5	.	2
Deuselbach	.	1	5	.	1
Düsseldorf (Flugh.)	.	1	3	.	.
Emden	.	2	2	.	1
Essen	.	1	2	.	.
Feldberg/Schw.	.	.	4	.	5
Friedrichshafen	.	1	4	.	1
Garmisch-Partenk.	.	13	.	.	.
Geisenheim	.	3	1	.	.
Gießen (Liebigsh.)	.	3	1	.	.
Göttingen	.	5	.	.	.
Hallig Hooge	.	1	5	.	2
Hamburg-Fuhlsbüttel	.	2	3	.	.
Hannover-Langenh.	.	1	4	.	1
Hof-Hohensaas	.	1	4	.	1
Hohenpeißenberg	.	.	7	.	4
Husum	.	3	2	.	.
Kahler Asten	.	.	7	.	2
Karlsruhe	.	1	2	.	.
Kempten	.	1	.	.	.
Kiel	.	3	1	.	.
Kl. Feldberg/Ts.	.	.	5	.	1
Klippeneck	.	.	3	.	1
List/Sylt	.	1	5	.	2
Mannheim	.	2	.	.	.
Marienberg	.	1	2	.	.
Memmingen	.	.	8	.	3
Mühdorf/Inn	.	2	.	.	.
München-Riem	-	-	-	-	-
Norderney	.	.	5	.	3
Nürnberg (Flugh.)	.	1	3	.	.
Öhringen	.	1	1	.	.
Osnabrück	.	2	1	.	.
Passau	.	4	.	.	.
Regensburg	.	3	.	.	.
Saarbrücken-Ensheim	.	1	1	.	.
Schleswig	.	2	2	.	.
Selbach	.	1	1	.	.
Soltau	.	3	1	.	.
St. Peter	.	1	5	.	2
Stötten	.	.	9	.	4
Stuttgart-Echterd.	.	1	2	.	.
Ulm	.	1	.	.	.
Wahn	.	2	1	.	.
Wasserkuppe	.	1	4	.	1
Weiden	.	2	1	.	.
Weißenburg/Bay.	.	.	3	.	.
Wendelstein	-	-	-	-	-
Westermarkelsdorf	.	1	6	.	2
Wulfsdorf-Ahrensburg	.	3	1	.	.
Würzburg	.	1	2	.	.

Abb. 1.1: Mittlerer Jahresgang der Flautenhäufigkeit in %
Beobachtungszeitraum 1969 bis 1974



DWD - ZA - K6d

Abb. 1.2: Mittlerer Jahresgang der Flautenhäufigkeit in %
Beobachtungszeitraum 1969 bis 1974



DWD - ZA - K6d

Abb. 1.3: Mittlerer Jahresgang der Flautenhäufigkeit in %
 Beobachtungszeitraum 1969 bis 1974

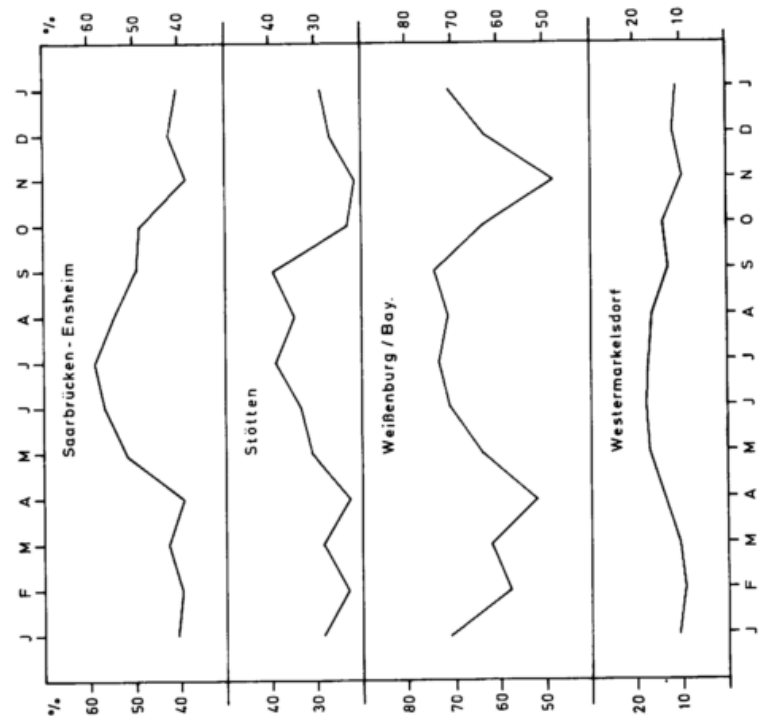


Abb. 2.1: Mittlerer jährlicher Tagesgang der Flautenhäufigkeit in %
 (Niederungstyp) Beobachtungszeitraum 1969 bis 1974
 (Übergangstyp)

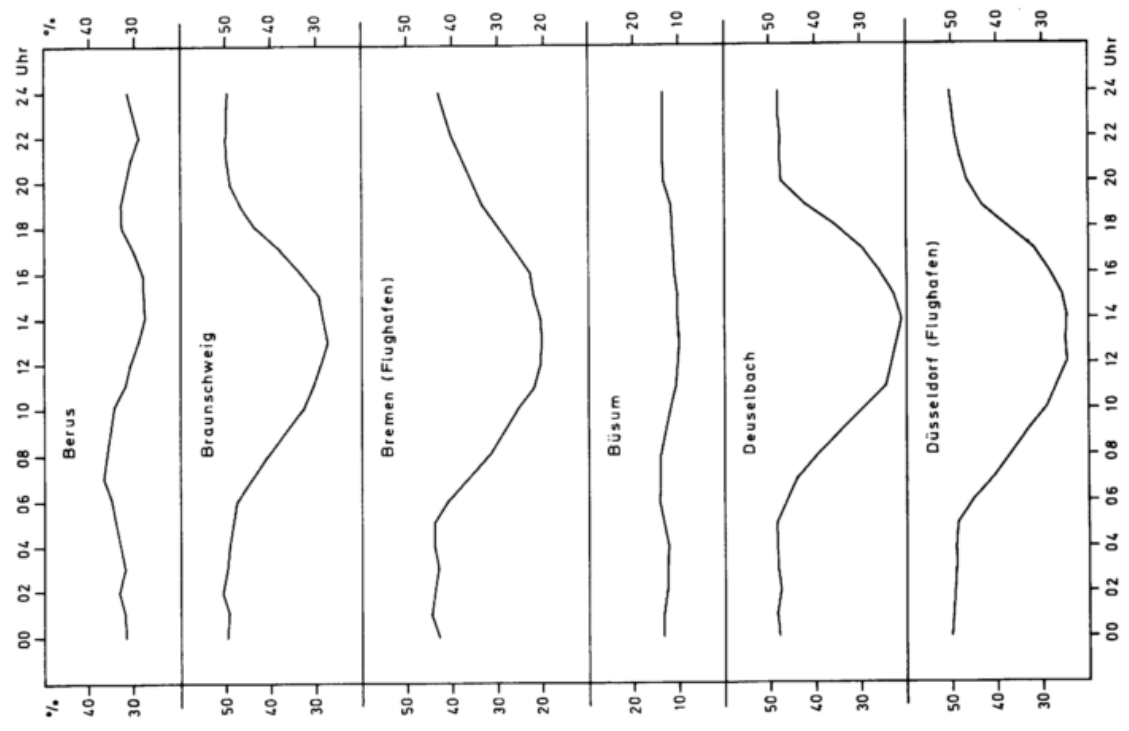
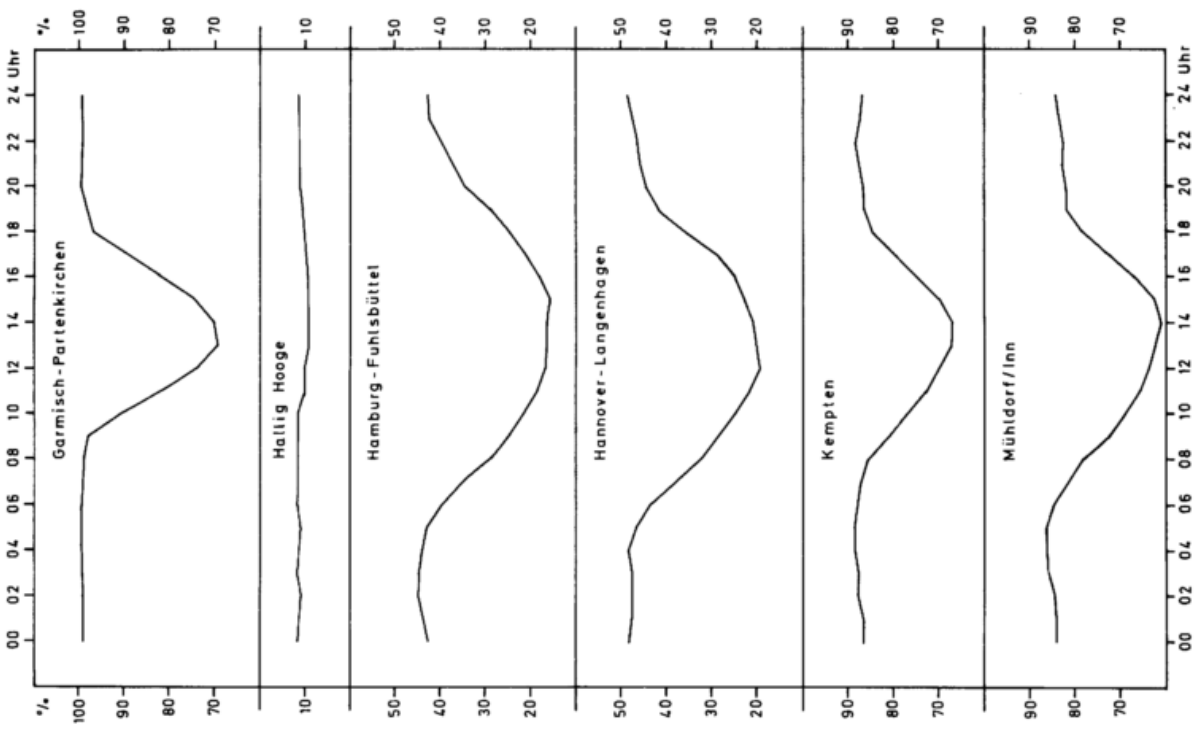
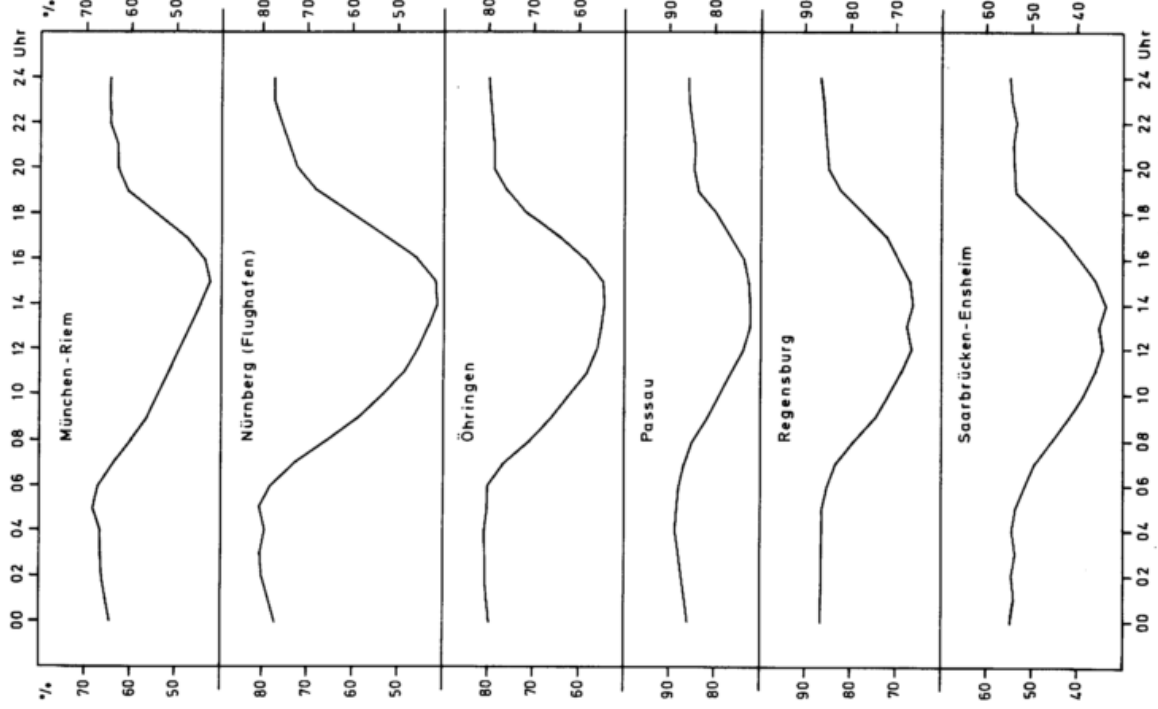


Abb. 2.2: Mittlerer jährlicher Tagesgang der Flautenhäufigkeit in %
(Niederungstyp) Beobachtungszeitraum 1969 bis 1974



DWD-ZA-K6d

Abb. 2.3: Mittlerer jährlicher Tagesgang der Flautenhäufigkeit in %
(Niederungstyp) Beobachtungszeitraum 1969 bis 1974



DWD-ZA-K6d

52 Abb. 2.4: Mittlerer jährlicher Tagesgang der Flautenhäufigkeit in %
 (Niederungstyp)
 (Übergangstyp) Beobachtungszeitraum 1969 bis 1974

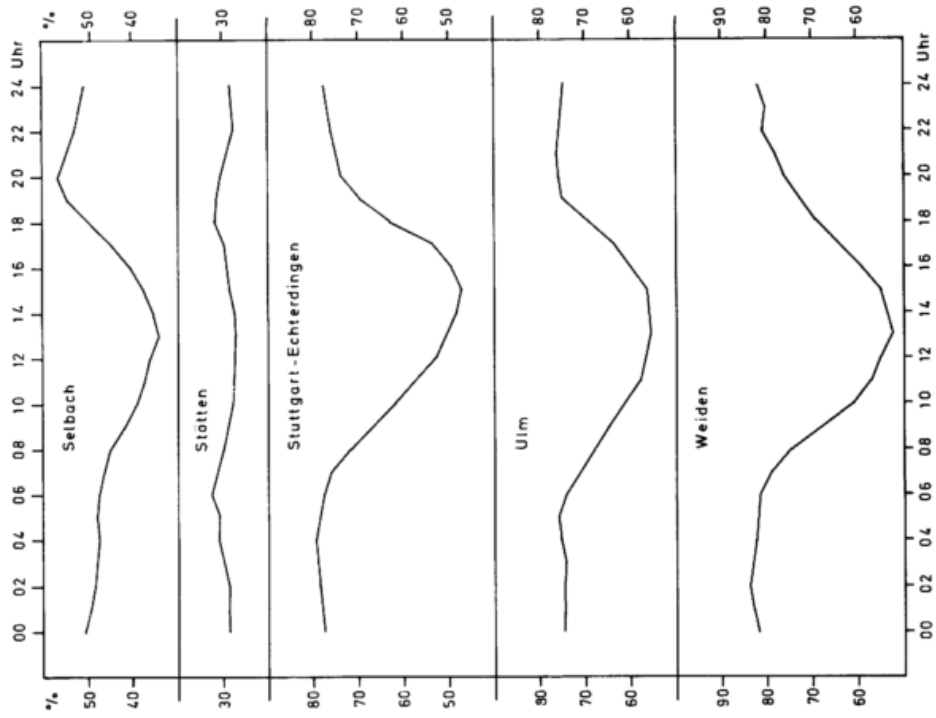


Abb. 2.5: Mittlerer jährlicher Tagesgang der Flautenhäufigkeit in %
 (Niederungstyp)
 (Übergangstyp) Beobachtungszeitraum 1969 bis 1974

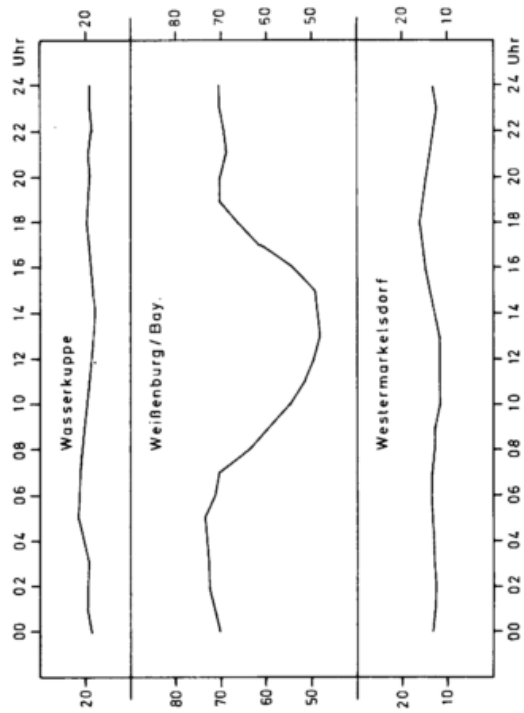


Abb. 3: Mittlerer jährlicher Tagesgang der Flautenhäufigkeit in %
(Höhentyp)
Beobachtungszeitraum 1969 bis 1974

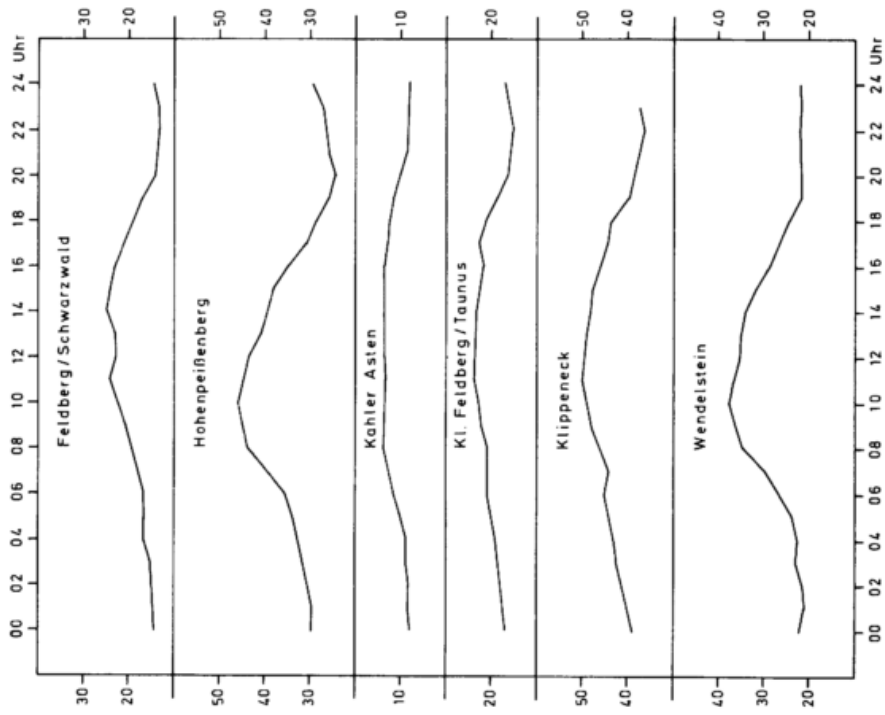


Abb. 4.1: Mittlerer Jahresgang der Häufigkeit von Windgeschwindigkeiten ≥ 5 m/s in %
Beobachtungszeitraum 1969 bis 1974

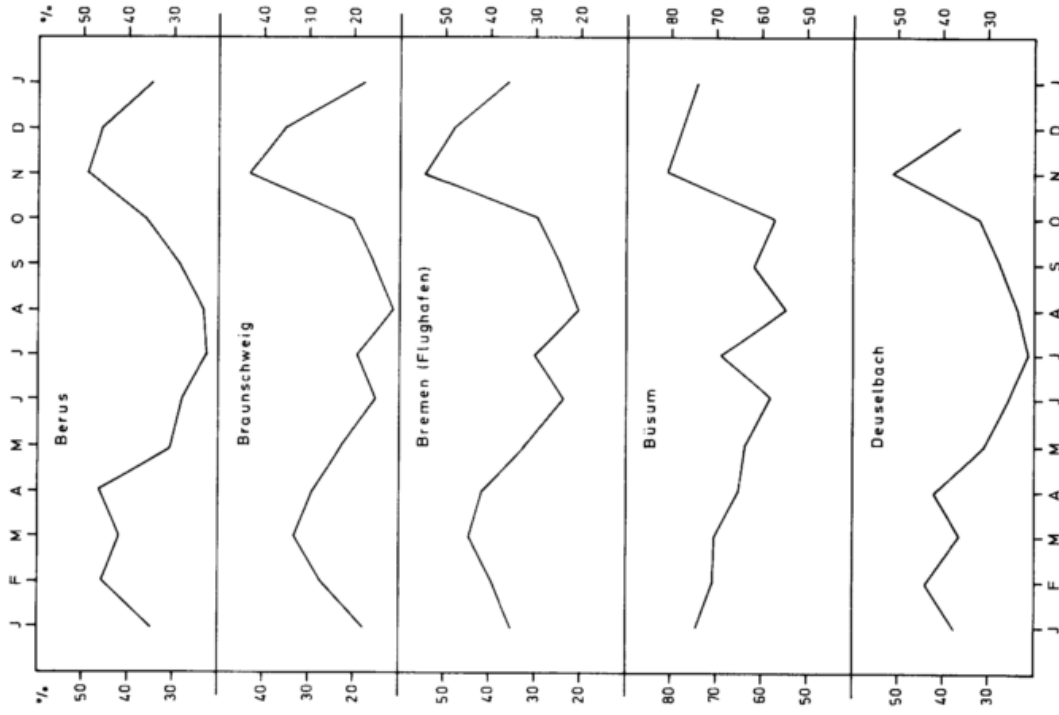


Abb.4.2: Mittlerer Jahresgang der Häufigkeit von Windgeschwindigkeiten ≥ 5 m/s in %
Beobachtungszeitraum 1969 bis 1974

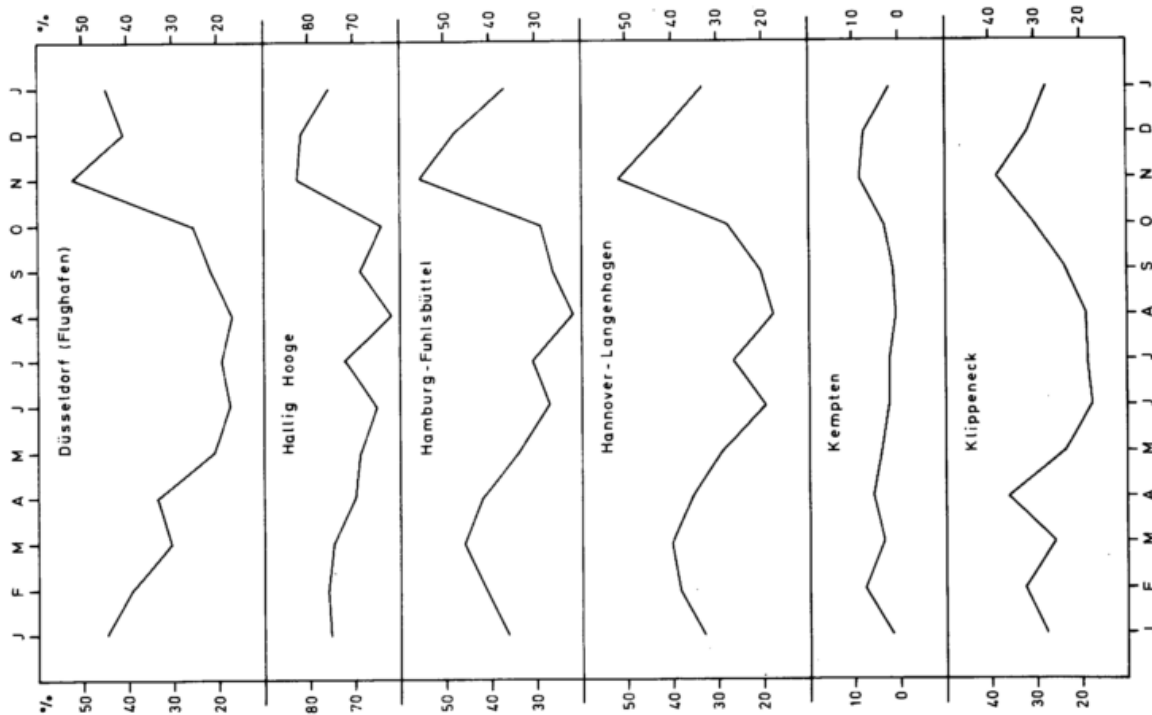


Abb.4.3: Mittlerer Jahresgang der Häufigkeit von Windgeschwindigkeiten ≥ 5 m/s in %
Beobachtungszeitraum 1969 bis 1974

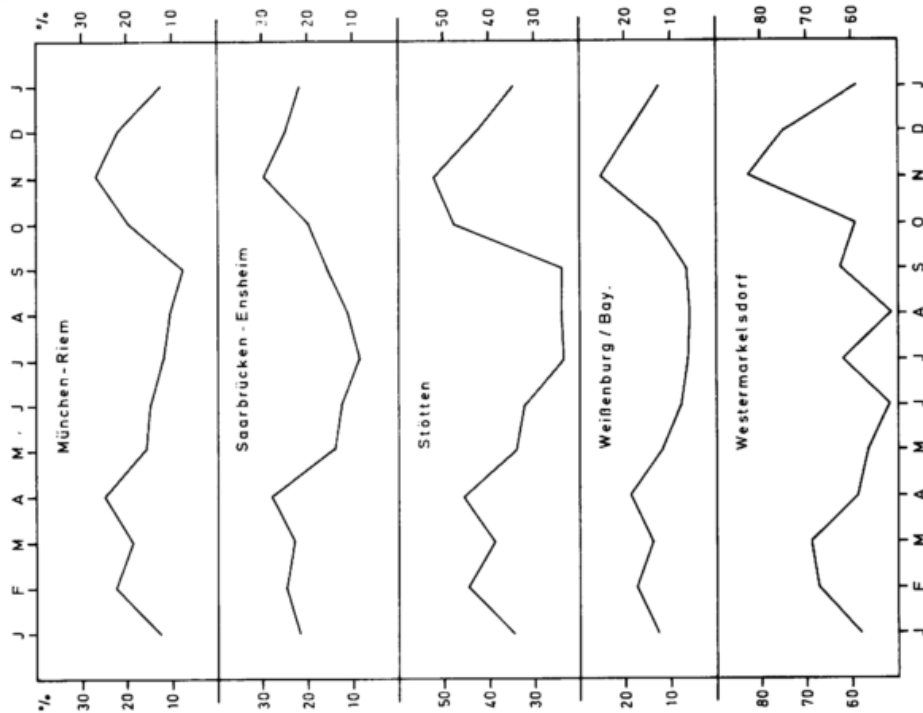


Abb. 5.1: Mittlerer Jahresgang der Häufigkeit von Windgeschwindigkeiten ≥ 8 m/s in %
Beobachtungszeitraum 1969 bis 1974

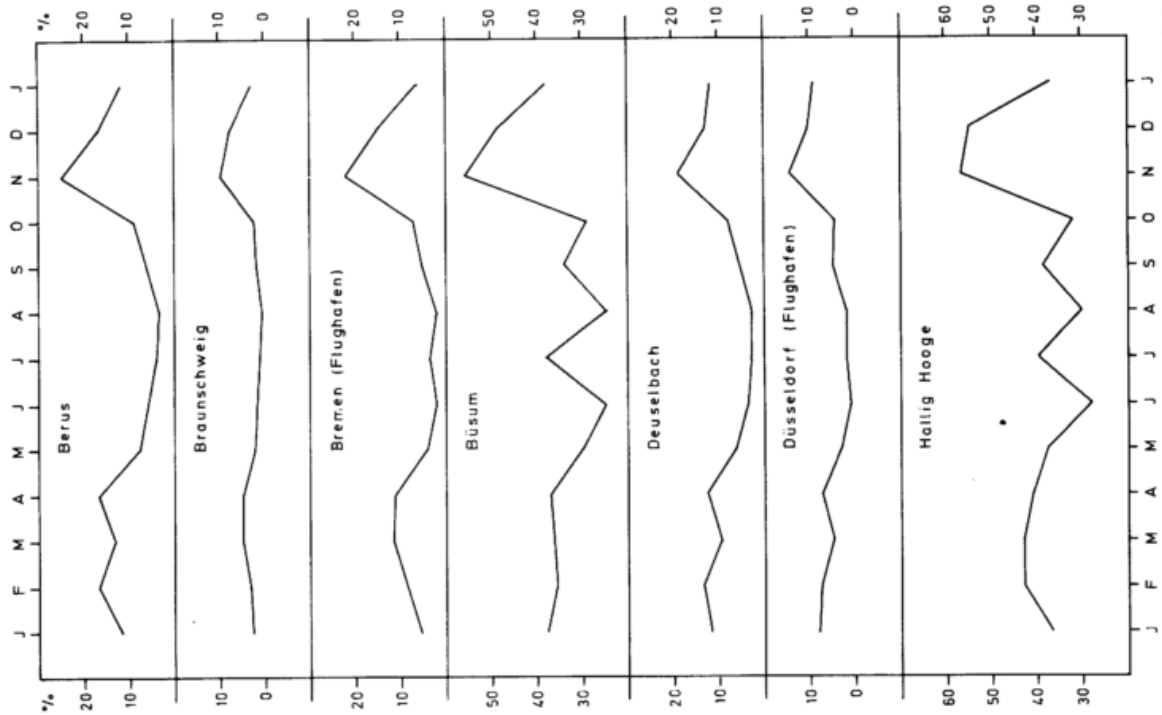


Abb. 5.2: Mittlerer Jahresgang der Häufigkeit von Windgeschwindigkeiten ≥ 8 m/s in %
Beobachtungszeitraum 1969 bis 1974

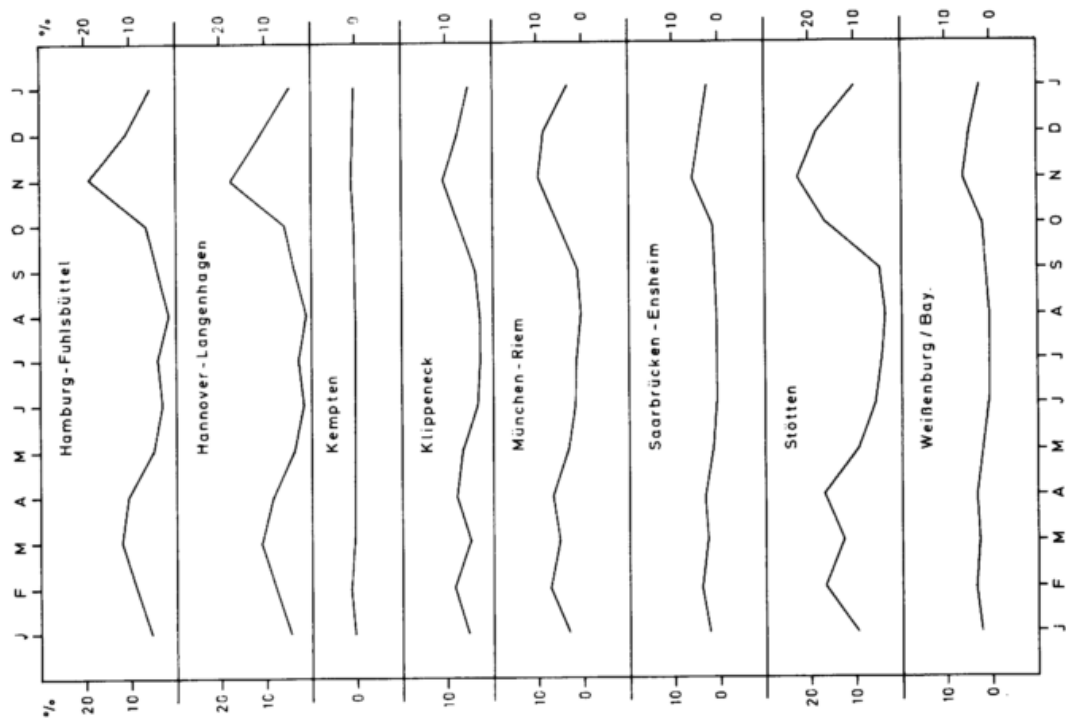


Abb. 5.3: Mittlerer Jahresgang der Häufigkeit von Windgeschwindigkeiten ≥ 8 m/s in %
 Beobachtungszeitraum 1969 bis 1974

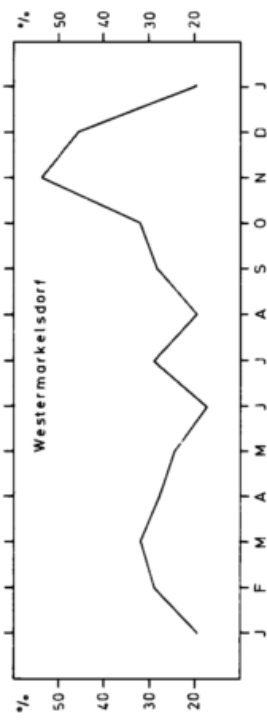


Abb. 5.1: Mittlerer Jahresgang der Häufigkeit von Windgeschwindigkeiten ≥ 12 m/s in %
 Beobachtungszeitraum 1969 bis 1974

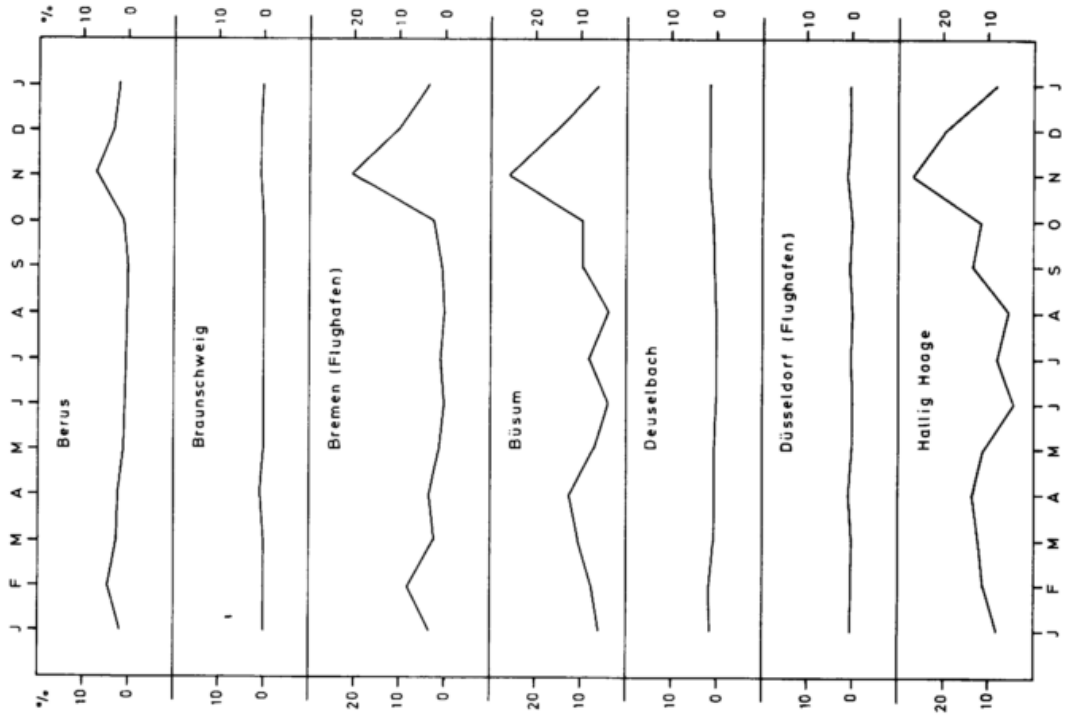
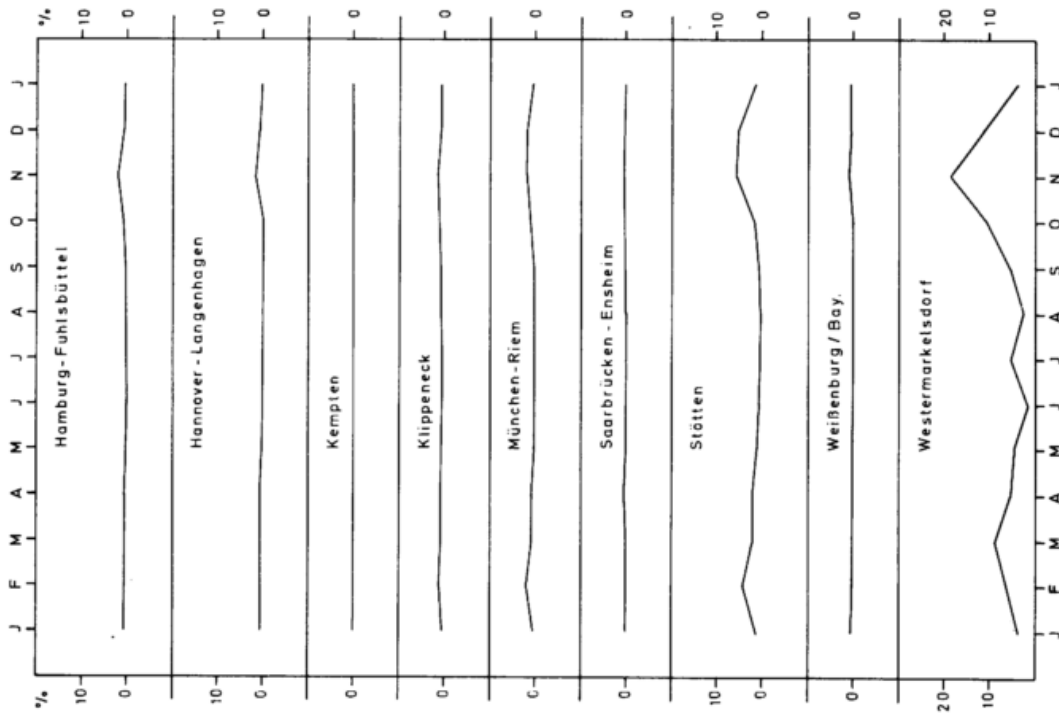
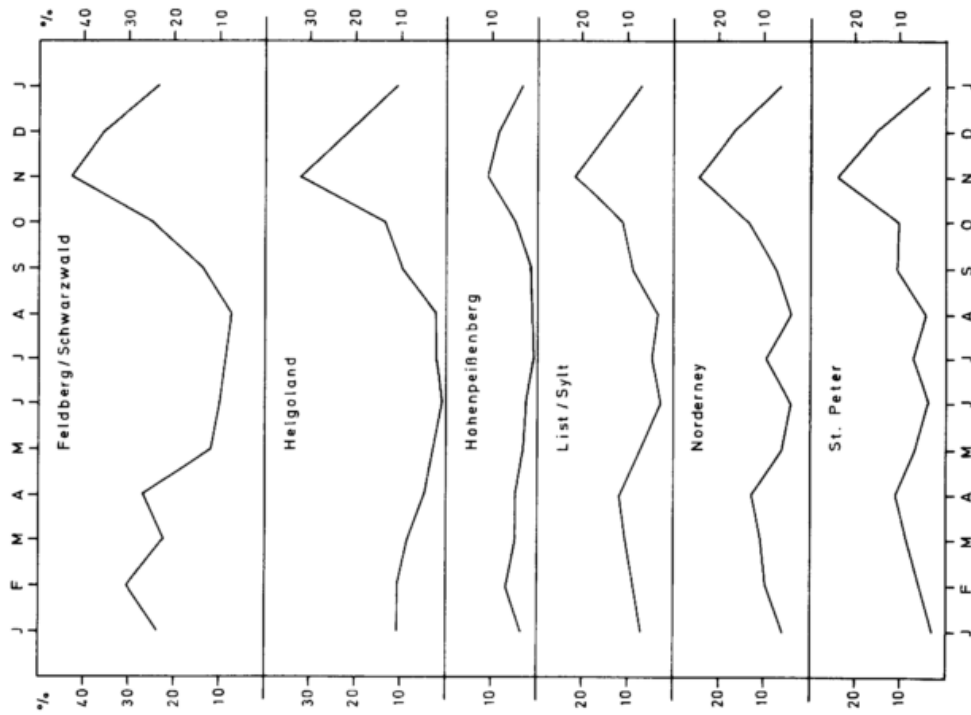


Abb. 6.2: Mittlerer Jahresgang der Häufigkeit von Windgeschwindigkeiten ≥ 12 m/s in %
Beobachtungszeitraum 1969 bis 1974



DWD-ZA-K6d

Abb. 6.3: Mittlerer Jahresgang der Häufigkeit von Windgeschwindigkeiten ≥ 12 m/s in %
Beobachtungszeitraum 1969 bis 1974



DWD-ZA-K6d

Abb. 6.4: Mittlerer Jahresgang der Häufigkeit von Windgeschwindigkeiten ≥ 12 m/s in %
 Beobachtungszeitraum 1969 bis 1974

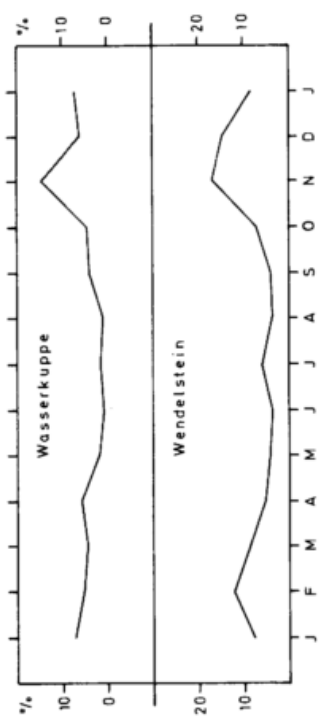


Abb. 7.1: Mittlerer jährlicher Tagesgang von Windgeschwindigkeiten ≥ 5 , ≥ 8 , ≥ 12 m/s in %
 Beobachtungszeitraum 1969 bis 1974
 - - - - ≥ 5 m/s — ≥ 8 m/s - - - - ≥ 12 m/s

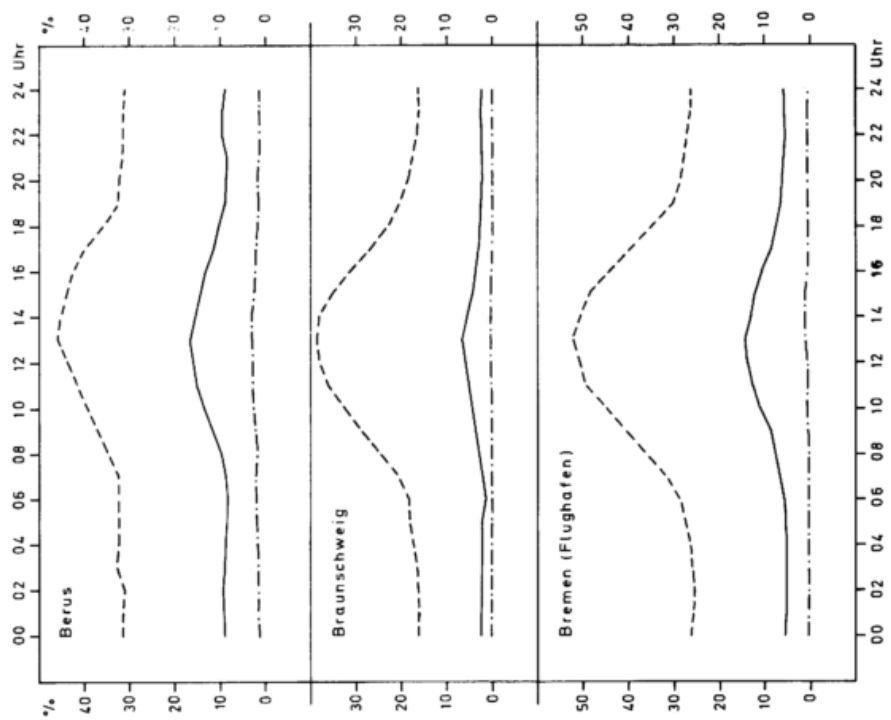


Abb. 7.2: Mittlerer jährlicher Tagesgang von Windgeschwindigkeiten ≥ 5 , ≥ 8 , ≥ 12 m/s in %
 Beobachtungszeitraum 1969 bis 1974

----- ≥ 5 m/s — ≥ 8 m/s - - - - ≥ 12 m/s

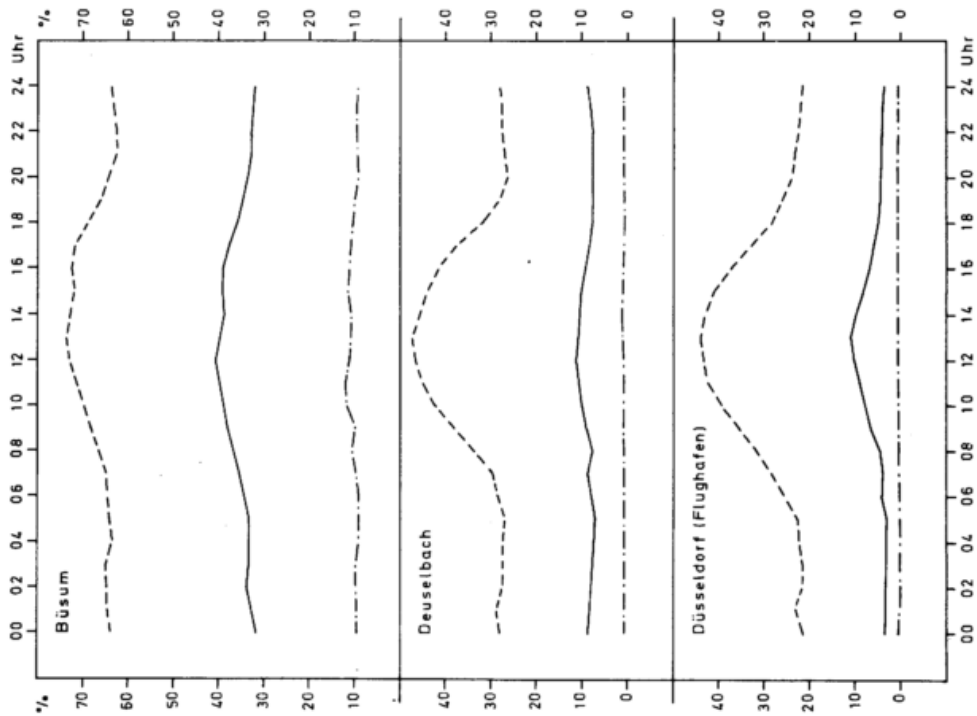


Abb. 7.3: Mittlerer jährlicher Tagesgang von Windgeschwindigkeiten ≥ 5 , ≥ 8 , ≥ 12 m/s in %
 Beobachtungszeitraum 1969 bis 1974

----- ≥ 5 m/s — ≥ 8 m/s - - - - ≥ 12 m/s

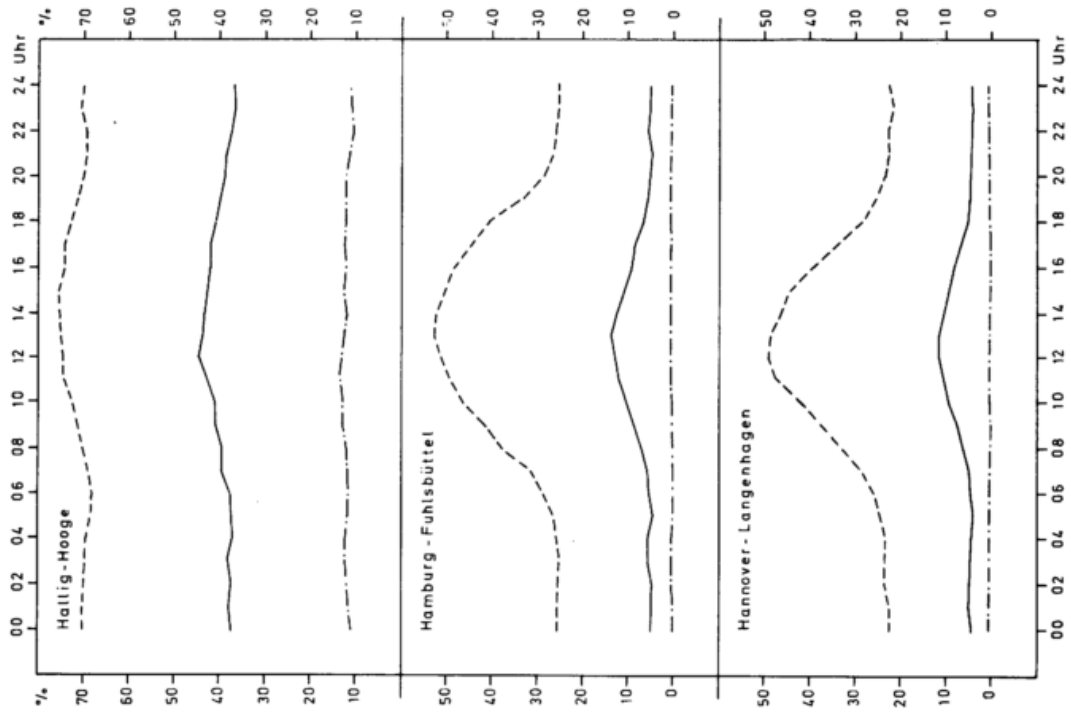


Abb. 7.4: Mittlerer jährlicher Tagesgang von Windgeschwindigkeiten ± 5 , ± 8 , ± 12 m/s in %
 Beobachtungszeitraum 1969 bis 1974

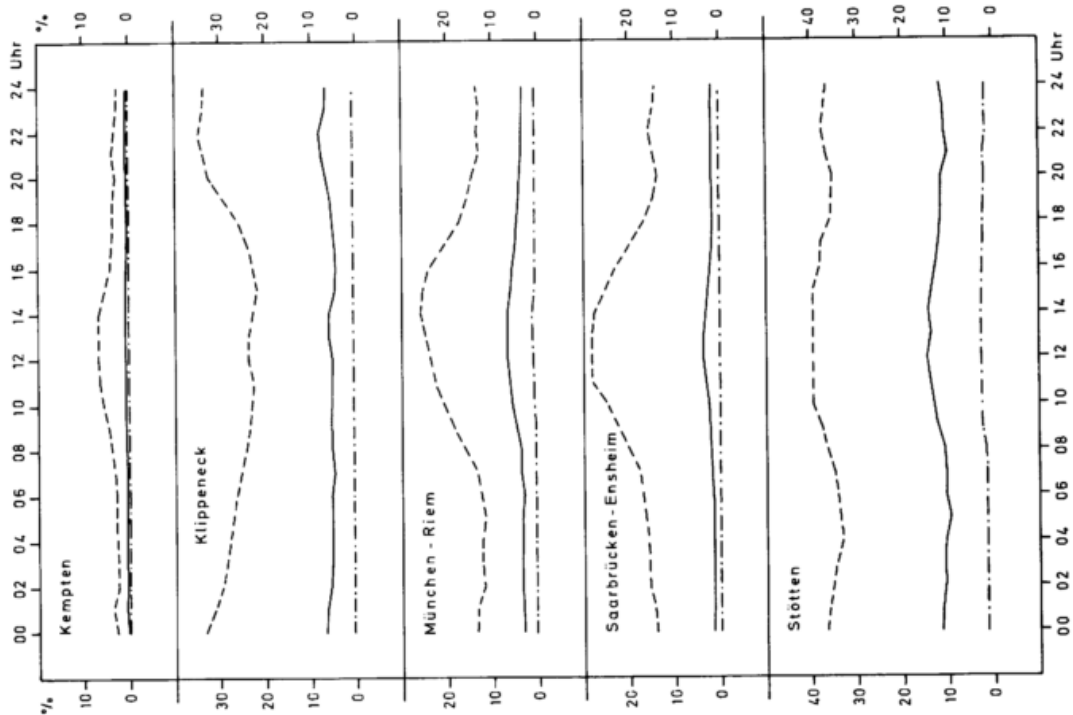


Abb. 7.5: Mittlerer jährlicher Tagesgang von Windgeschwindigkeiten ± 5 , ± 8 , ± 12 m/s in %
 Beobachtungszeitraum 1969 bis 1974

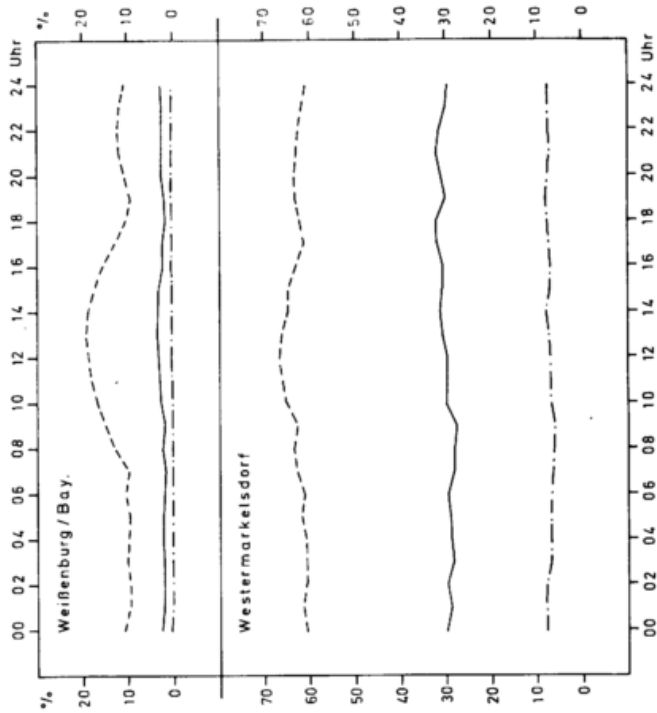
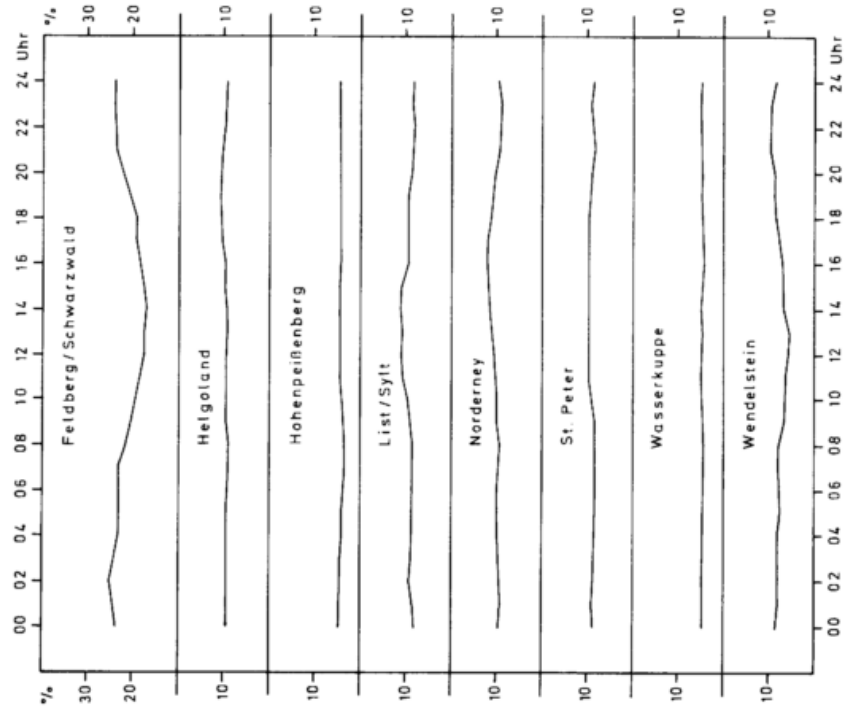


Abb. 8: Mittlerer jährlicher Tagesgang von Windgeschwindigkeiten ≥ 12 m/s in %
 Beobachtungszeitraum 1969 bis 1974



Teil IV: Küstenvorfeld

von

H. Schmidt, B. Morgeneyer und M. Ulbricht-Eissing

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
1	EINLEITUNG 65
2	DATENMATERIAL 65
3	PROBLEME DER EXTRAPOLATION 66
4	ERGEBNISSE 68
5	ERGEBNISSE FÜR DEN VERBUNDBETRIEB 69
6	LITERATUR 72
Anhang zu Teil IV: 20 Abbildungen 73	

1 EINLEITUNG

Dieses Forschungsvorhaben steht in inhaltlichem Zusammenhang mit dem Vorhaben 03E-1414-A für das Binnenland (Teil III). Speziell für die norddeutschen Gegebenheiten und die hier vorliegenden Daten werden neben den Untersuchungsergebnissen die Schwierigkeiten der Extrapolation von Winddaten auf größere Höhen näher betrachtet sowie die Ansätze zur Bestimmung der Leistungsfähigkeit von Verbundsystemen erläutert.

Eine wesentliche Größe zur summarischen Darstellung der Leistungsfähigkeit (insbesondere für Verbundsysteme) ist die "Relative Systembedingte Verfügbarkeit", im folgenden abgekürzt als RSV bezeichnet. Die RSV ist das Verhältnis (in %) zwischen der tatsächlichen Leistung eines Konverters (Verbundsystems) an einem Ort innerhalb eines gegebenen Zeitraumes und der Nennleistung. Die Berechnung der RSV erfolgt über Leistungsdiagramme (Abb. 1). Diese Diagramme haben als Abszisse den betreffenden Zeitraum (Gesamtzeit = 100 %), als Ordinate das Verhältnis zwischen der Leistung und der Nennleistung (in %). Die treppenförmige Leistungskurve wird aus der Verteilung der Windgeschwindigkeit unter Berücksichtigung der spezifischen Eigenschaften des Konverters (in idealisierter Form) berechnet. Dabei wird angenommen, daß der Konverter bei Windgeschwindigkeiten kleiner als V_1 keine Leistung erbringt, zwischen V_1 und V_2 die Leistung der dritten Potenz der Windgeschwindigkeit direkt proportional ist (konstanter Wirkungsgrad), zwischen V_2 und V_3 die Nennleistung konstant abgegeben wird und oberhalb V_3 aus Sicherheitsgründen abgeschaltet wird. Dabei wird V_1 Anlaufschwelle, V_2 Volllastschwelle und V_3 Abschaltschwelle genannt.

Dem Diagramm Abbildung 1 liegen die idealisierten Leistungsdaten des "GROWIAN" zugrunde. Er wird hier als Konverter Typ 2 bezeichnet, seine Kenndaten sind $V_1 = 6$ m/s, $V_2 = 12$ m/s, $V_3 = 24$ m/s. Die Winddaten am Feuerschiff

TW Ems wurden auf 50 m extrapoliert und anhand dieser Kenndaten umgerechnet. Die RSV ist das Integral der Fläche unter der Treppenkurve ($RSV = 43.4$ %) relativ zu dem Zustand des die ganze Zeit mit Vollast laufenden Konverters ($RSV = 100$ %), was ja tatsächlich wegen des Schwachwindanteils nicht vorkommt. Zur realistischen Erfassung der Möglichkeiten der Windkraftnutzung im unteren Niveau (10 m und 25 m über Grund) haben wir noch einen gering dimensionierten Konverter (Typ 1) mit den Daten $V_1 = 5$ m/s, $V_2 = 10$ m/s, $V_3 = 20$ m/s eingeführt. Da im unteren Niveau geringe Windgeschwindigkeiten sehr häufig vorkommen, ist die RSV des Typs 1 in der gleichen Höhe stets größer als die des Typs 2.

2 DATENMATERIAL

Es stehen Serien der Windgeschwindigkeit von folgenden Orten zur Verfügung, wobei nur ein Teil der Registrierungen der Stationen aus Mitteln dieses Projektes aufbereitet wurde:

- Nordholz	GeophysBDBw
- Oldenburg	GeophysBDBw
- Wittmund	GeophysBDBw
- Ahlhorn	GeophysBDBw
- Sengwarden	GeophysBDBw
- Jever	GeophysBDBw
- Rotenburg/Wümme	GeophysBDBw
- Leda-Sperrwerk	WSV
- Brake	WSV
- Minsener Oog	WSV
- Emden	DWD
- Bremen	DWD
- Wilhelmshaven	WSV
- Hohn	GeophysBDBw
- List/Sylt	DWD
- Westerland/Sylt	DWD
- Eidersperrwerk	WSV
- Büsum	ALW
- Hooge	ALW
- Leck	GeophysBDBw
- Eggebek	GeophysBDBw
- Husum	GeophysBDBw
- Meierwik	GeophysBDBw
- Jagel	GeophysBDBw
- Kiel-Holtenau	GeophysBDBw
- Westermarkelsdorf/Fehmarn	DWD
- Travemünde	WSV
- Hamburg-Fuhlsbüttel	DWD
- Hamburg-St. Pauli	DWD
- Störsperrwerk	WSV
- Itzehoe	GeophysBDBw
- Cuxhaven	DWD
- Helgoland	DWD
- Bremerhaven	DWD
- Norderney	DWD
- Borkum	WSV

Von den Feuerschiffen

- Elbe I
- Weser
- Deutsche Bucht
- TW Ems
- Borkumriff
- Fehmarnbelt

stehen für diese Untersuchung nur Mittelwerte des Windes zur Verfügung.

Dabei bedeuten die Abkürzungen:

WSV	- Wasser- und Schifffahrtsverwaltung
GeophysBDBw	- Geophysikalischer Beratungsdienst der Bundeswehr
DWD	- Deutscher Wetterdienst
ALW	- Amt für Land- und Wasserwirtschaft

An dieser Stelle möchten wir allen beteiligten Dienststellen für die freundliche Unterstützung und insbesondere für die unübliche Bereitschaft danken, uns die Originalregistrierungen zur Auswertung zur Verfügung zu stellen.

Die Auswertung der Registrierungen wurde nach einem Verfahren vorgenommen, das schon für verschiedene Projekte des Deutschen Wetterdienstes am Seewetteramt Hamburg mit Erfolg verwendet wurde. Erfahrene Werkvertragsnehmer lesen nach einem vorgegebenen Schema die Originalregistrierungen ab und prüfen dabei die Registrierung auf mögliche Störungen und Verschiebungen. Die für verarbeitungswürdig befundenen Werte werden in Markierungsformulare eingetragen (gekennzeichnet), die dann ohne weitere manuelle Bearbeitung direkt von einer EDV-Anlage gelesen werden können.

Die gelesenen Serien wurden einer EDV-Prüfroutine unterworfen, die die Einzelwerte auf Serienkonsistenz prüft und die insbesondere die unvermeidlichen Markierungsfehler (sog. "Fünfer-" und "Zehnerfehler" sowie Vertauschungen) weitmöglich erkennt sowie Sprungstellen und "Ausreißer" feststellt. Die ermittelten Fehler wurden nachgebessert, die Serienabschnitte anschließend zeitlich sortiert und eventuelle Lücken durch Fehlkennungen aufgefüllt.

Es wurde ein Zeitraum von sechs Jahren aus der jüngeren Zeit (1972 bis 1977 einschließlich) gewählt. Als Basis für den Zeittakt stand nur das international übliche und gerätespezifisch fest eingebaute Zehnminuten-Intervall zur Verfügung. Eingehende Untersuchungen an schon vorhandenen Serien ergaben eine fast vollständige Unabhängigkeit der Form der resultierenden Häufigkeitsverteilung von der jeweiligen Ausleserate. Der Grund dürfte in der Erhaltungsneigung des Windes zu finden sein. Es ist also weitgehend unerheblich, ob man aus einem Zeitraum alle Werte, jeden sechsten (einen pro Stunde) oder gar einen pro drei Stunden benutzt, um eine Häufigkeitsverteilung zu erstellen. Sie wird im wesentlichen gleich sein. Wir haben uns für die Ausleserate 1 Wert pro Stunde entschieden. Die Datenserien jeder Station enthalten daher maximal 52600 Werte. Bisweilen fehlen kürzere Abschnitte, so daß der reale Umfang etwa 50000 Werte beträgt. Bei dieser Auswertung wurde für alle Serien dasjenige Zehnminuten-Intervall verwendet, das sich von der 30. bis zur 40. Minute jeder Stunde erstreckt. Für dieses Intervall wurde der Zehnminuten-Mittelwert und der maximale Momentanwert der Windgeschwindigkeit abgelesen.

3 PROBLEME DER EXTRAPOLATION

Betrachtet man den Tagesgang der RSV, so zeigt sich analog zu dem Tagesgang der Windgeschwindigkeit ein wesentlicher Unterschied zwischen Land und Meer (Abb. 2): Über dem Meer gibt es praktisch keine Unterschiede zwischen Tag und Nacht, was an den durch die hohe Wärmekapazität des Wassers sehr ausgeglichenen thermischen Verhältnissen liegt. Über Land dagegen ist der Tagesgang sehr deutlich. Die Ursache ist die häufige nächtliche Stabilisierung durch Ausstrahlung, die eine Abkopplung der bodennahen von höheren Schichten der Atmosphäre bewirkt ("Einschlafen" des Bodenwindes).

Die Auswirkungen der tageszeitlichen Variationen der Schichtungsstabilität auf das vertikale Profil der Windgeschwindigkeit sind erheblich. Unter neutralen Schichtungsverhältnissen läßt sich das Windprofil mit einem "logarithmischen Profil" recht gut beschreiben, dabei stehen die Geschwindigkeiten V_1 , V_2 in den Höhen Z_1 und Z_2 in folgender Beziehung:

$$V_1/V_2 = \log(Z_1/Z_0)/\log(Z_2/Z_0) \quad (1)$$

Z_0 ist eine Integrationskonstante, die vor allem von der Geländerauhigkeit in der Umgebung des Windmessers abhängt. Z_0 wird daher auch "Rauhigkeitsparameter" genannt und besitzt die Dimension einer Länge. Wir haben Z_0 nach dem Verfahren von WIERINGA [1] [2] aus dem Medianwert des Böenfaktors G berechnet. G ist das Verhältnis zwischen dem maximalen Momentanwind und dem mittleren Wind eines Zeitraumes (hier 10 Minuten). Weiter gehen in die Berechnung noch Gerätekonstanten des verwendeten Windmessers ein.

In Gleichung (1) kann ferner der Schichtungseinfluß berücksichtigt werden (z.B. nach der von BENESCH et al. [3] angegebenen Methode); da aber für die Winddaten keine gleichzeitigen Daten über die atmosphärische Schichtung zur Verfügung stehen, muß nach Verhältnissen gesucht werden, unter denen eine Extrapolation unter Annahme neutraler Schichtung gerechtfertigt erscheint.

Im allgemeinen ist es gerechtfertigt, bei Windgeschwindigkeiten von mehr als 5 m/s aufgrund der mechanischen Turbulenzerzeugung am Erdboden gute Durchmischung und damit neutrale Schichtung anzunehmen. Bei geringeren Windgeschwindigkeiten, die bei der Extrapolation zunehmenden Einfluß gewinnen, sind neutrale Bedingungen nur um die Mittagszeit annähernd zu erwarten, da dann die Einstrahlung für zusätzliche Durchmischung sorgt.

In der Abbildung 3 ist dies gut zu erkennen. Dort sind die Vertikalprofile der mittleren Windgeschwindigkeit um 12 Uhr und 02 Uhr in

den Monaten Juni und Dezember aufgetragen, die FRANKENBERGER [4] als monatliche Mittelwerte für die Station Quickborn bis 70 m Höhe gemessen hat. Die 12-Uhr-Profile sind in logarithmischer Darstellung der Höhe praktisch gerade. Es ergibt sich ein Rauhigkeitsparameter $Z_0 = 7$ cm. Die Formel (1) ist voll anwendbar. Nachts dagegen sind die Profile stark gekrümmt und eine Extrapolation aus 10 m auf 70 m nach Gleichung (1) führt zu stärkeren Fehlern (gepunktet in Abb. 3).

Nun sind an den meisten Stationen die Umgebungsverhältnisse keineswegs so homogen, daß man von "dem" Rauhigkeitsparameter schlechthin sprechen könnte. Vielmehr zeigt Z_0 meist deutliche Unterschiede je nach der Richtung, aus der der Windmesser angeströmt wird. Ein besonders ausgeprägtes Beispiel zeigt die Abbildung 4 für die Station Hohn (bei Rendsburg). Während Z_0 im allgemeinen dort kleiner als 2 cm ist, führt die Abschattung durch ein etwa 15 m hohes, ca. 100 m entferntes Wäldchen im Nordwesten zu einem Rauhigkeitsparameter Z_0 von 30 cm.

Richtungsabhängige Rauhigkeitsparameter, wie sie für Hohn aus zeitsynchronen Windrichtungs- und Windgeschwindigkeitskollektiven ermittelt werden konnten, liegen für die anderen Stationen noch nicht vor. So sind wir also gezwungen, ein "globales" Z_0 nur aus den Windgeschwindigkeitsdaten zu berechnen. Im Falle der Station Hohn beträgt dieses $Z_0 = 4.6$ cm. Die mit diesem mittleren Z_0 auf größere Höhen extrapolierten Windwerte sind daher zwar in ihrer Verteilung brauchbar, im Einzelfall aber mit einer erheblichen Unsicherheit behaftet, da Nordwestwinde erheblich unter-, alle übrigen aber überschätzt werden. Hier zeigt sich besonders deutlich, daß die im vorangegangenen Teil III getroffene Aussage, wonach die Extrapolation einzelner Windwerte nicht statthaft sei, im Grunde berechtigt ist.

Daß wir dennoch eine Extrapolation der Einzelwindwerte vornehmen (und dabei allerdings eine

vermehrte Streuung in Kauf nehmen) hat folgende Gründe: Extrapolation und Bildung von Häufigkeiten sind mathematisch lineare Operationen und damit vertauschbar, vorausgesetzt, die Extrapolation wird mit nur einer monotonen Funktion je Station vorgenommen (bei der Berücksichtigung der Stabilität ist dies nicht mehr der Fall). Das gilt sogar für die Bestimmung bedingter Wahrscheinlichkeiten für den Verbundbetrieb. Die Berechnung der RSV war für uns (insbesondere bei Berechnung der RSV von Verbunden) bei der Benutzung von Einzelwerten weit einfacher. Um die Unsicherheit in der RSV von Verbundsystemen möglichst gering zu halten, haben wir dort nur Stationen herangezogen, bei denen wir eine weitgehend homogene Richtungsverteilung des Rauigkeitsparameters annehmen können.

Eine weitere Besonderheit ist das Überkreuzen der 12-Uhr- und 02-Uhr-Profile in Abbildung 3 bei ca. 50 m Höhe. Ab dieser Höhe verläuft also der Tagesgang des Windes invers zu dem am Boden und entspricht dann dem über dem Meer und auf Bergen [3]. Nach den Untersuchungen der Universität Hannover [5] [6] beginnen aber bereits ab 70 m Höhe vor allem bei nächtlich stabiler Schichtung die Phänomene der "Grenzschichtstrahlströme", die bis über 150 m Höhe die Windprofile erheblich beeinflussen und vor allem nicht aus Bodenwinddaten allein abzuleiten sind.

Aus den verschiedenen bisher genannten Gründen erscheint es uns nach dem derzeitigen Stand des Wissens und dem vorliegenden Datenmaterial nicht angeraten, eine Extrapolation über 50 m hinaus vorzunehmen. Zur Verdeutlichung der Situation möge die Abbildung 5 dienen. Hier ist für zwei Stationen die RSV als Funktion der Höhe aufgetragen. Über See (Station TW Ems) liegen die Verhältnisse noch relativ einfach, da der Tagesgang der RSV vernachlässigbar ist und eine homogene Umgebung, von Störeinflüssen des Schiffes selbst abgesehen, sicher ist. Über Land (Station Jagel bei Schleswig) ist die Situation viel komplizierter: Die Symbole

zeigen die berechneten Werte der RSV. Die horizontalen Balken sollen den Bereich andeuten, in dem nach unserer Vermutung der tatsächliche Wert der RSV (mit einer Irrtumswahrscheinlichkeit von 30 %) liegen müßte. Dieser Bereich verschiebt sich über Land von der Extrapolation aller Werte (0 Uhr bis 24 Uhr) in 10 m zu der Kurve der Mittagswerte (11 Uhr bis 16 Uhr) in 50 m Höhe. In 100 m über Grund schätzen wir diesen Fehlerbereich auf wenigstens 20 % Breite. Damit erreicht er schon die Größenordnung der RSV-Werte selbst. In 25 m Höhe sollten die wahren RSV-Werte wegen des noch deutlichen Einflusses der nächtlichen Stabilisierung zwischen beiden Kurven liegen. Im folgenden werden wir uns daher nur noch auf die Höhen 10 m und 50 m über Grund beziehen.

4 ERGEBNISSE

Die RSV ist in den Abbildungen 6 bis 9 für verschiedene Höhen und Windkonvertertypen in ihrer regionalen Verteilung über Norddeutschland dargestellt. Die Zahlenangaben in den Kreisen beziffern die berechnete RSV an den Stationen in Prozent der Nennleistung der Konverter. Die Isolinien orientieren sich weitgehend an diesen Zahlen. Dabei wurden aber einige Stationen weniger berücksichtigt (mit Plus- und Minus-Zeichen gekennzeichnet), die hier aus verschiedenen Gründen zu hohe bzw. zu niedrige Werte ergeben. Zudem wurde der Verlauf der Isolinien zwischen den Stationen der bekannten regionalen Verteilung der Rauigkeitsverhältnisse angepaßt. Auch wurden für das 10-m-Niveau die Werte des Windes nicht auf ein einheitliches Rauigkeitsniveau reduziert (z.B. $Z_0 = 3$ cm für "freies, offenes" Gelände). Denn es ist auszuschließen, daß es einem potentiellen Betreiber eines kleineren Konverters möglich sein wird, die Umgebungsrauigkeit etwa durch Abholzen aller Wälder im Umkreis von 3 km wesentlich zu erniedrigen. Die RSV an einem Ort wird also als repräsentativ für eine weitere Umgebung mit ähnlichen Rauigkeitsverhältnissen angesehen.

Damit spiegeln sich in den vier Abbildungen 6 bis 9 und auch den nachfolgenden Abbildungen 10 bis 12 deutlich die typischen norddeutschen Gegebenheiten mit relativ baumlosen Niederungen an den Küsten und entlang den Strömen sowie in den bewaldeten Geestgebieten dazwischen wider. In den Abbildungen 6 und 7 zeigt sich, daß die RSV des Konverters 1 (in 10 m Höhe) systematisch etwa 10 % höher liegt als die des Konverters 2, die auch auf See kaum 30 % erreicht. Abbildung 9 dagegen zeigt die RSV des Typs 2 (GROWIAN) in der ihm eher angemessenen Höhe von 50 m. Sie erreicht in der Deutschen Bucht Werte bis 44 %, im Inland noch bis 20 %. Dabei macht der Vergleich mit Abbildung 8 deutlich, wie sehr die RSV über Land unterschätzt wird, wenn auch die nächtlichen Windwerte mit zur Extrapolation herangezogen werden.

Im folgenden werden wir den Begriff "Stillstand" verwenden, mit dem wir diejenigen Zeitanteile definieren, in denen der Wind kleiner ist als die Anlaufschwelle des betreffenden Konvertertyps und daher keine Energie produziert wird. "Stillstand" ist also ein vom Konvertertyp abhängiger Zustand, im Gegensatz dazu sind die Begriffe "Windstille", "Flaute" und "Schwachwind" ausschließlich Eigenschaften des Windes.

Die regionale Verteilung des Stillstands ist in den Abbildungen 10 bis 12 dargestellt. Die Isolinien haben einen ähnlichen Verlauf wie in den Abbildungen 6 bis 9, was ebenfalls der regionalen Rauigkeitsverteilung zuzuschreiben ist. Während sich für 10 m und den Typ 1 große Unterschiede zwischen der Deutschen Bucht (ca. 15 % Stillstand) und dem Binnenland (ca. 60 % Stillstand) ergeben, liegen die Verhältnisse in Abbildung 10 für den Typ 2 und 50 m Höhe besser (32 % bzw. 50 %). Abbildung 9 macht wieder deutlich, um wieviel schlechter die Verhältnisse bei Berücksichtigung aller Windwerte des Tages zur Extrapolation auf 50 m Höhe eingeschätzt werden. Hier ergeben sich bis etwa 70 % Stillstand im Binnenland.

5 ERGEBNISSE FÜR DEN VERBUNDBETRIEB

Als Verbundbetrieb wird die Zusammenfassung mehrerer Windkonverter mit gemeinsamer (zusammengefaßter) Leistungsabgabe verstanden. Dabei konnten mangels geeigneter Daten nicht die Bedingungen des "Pools" (oder "Farm" genannt) untersucht werden, bei der mehrere Konverter in einer Gruppe stehen. Im folgenden handelt es sich um Dreifach-Verbundsysteme mit gegenseitigen Abständen der Konverter von 70 km bis 300 km. Dabei sind in den Abbildungen 13 bis 15 die drei beteiligten Orte durch Linien verbunden. Ausgezogene Linien und Zahlen in ausgezogenen Kreisen kennzeichnen die kleinen Dreiecke, strichpunktierte die großen (List-Ahlhorn-Westermarkelsdorf bzw. List-Ahlhorn-TW Ems), desgleichen punktierte Linien und Kreise (List-TW Ems-Westermarkelsdorf bzw. TW Ems-Westermarkelsdorf-Ahlhorn).

Grundsätzlich kann ein Verbundsystem nur soviel Energie liefern, wie die Summe der an ihm beteiligten Konverter im Inselbetrieb. Daher kann hier auf die Darstellung der RSV im Verbund verzichtet werden, da diese durch mit der Nennleistung der beteiligten Konverter gewichtete Mittelung der RSV für den Inselbetrieb (Abb. 6 bis 9) - bei gleichen Konvertern - durch einfache Mittelung berechnet werden kann. Der einzige Vorteil des Verbundbetriebes liegt in seiner ausgleichenden Wirkung.

Dies ist deutlich zu sehen an dem Stillstand-Anteil (Abb. 10 für Typ 1 in 10 m und Abb. 11 für Typ 2 in 50 m Höhe). Der Stillstand im Verbund (alle drei Stationen stehen still, Zahlen in den großen Kreisen) ist immer seltener als an allen beteiligten Stationen einzeln (Zahlen in den kleinen Stationskreisen). Bei dem Verbund List-Ahlhorn-TW Ems in Abbildung 14 gibt es nur zu 13 % der Zeit gar keine Leistung, an den einzelnen Stationen dagegen zu 29 %, 37 % und 30 %. Es zeigt sich aber, daß die Windgeschwindigkeiten an den drei Orten noch zu einem Teil miteinander verwandt sind, d.h. gleichsinnig und nicht unabhängig

voneinander variieren. Wären sie nämlich (in stochastischem Sinne) voneinander unabhängig, dann dürfte die Gesamtwahrscheinlichkeit für den Stillstand des Verbundes nur dem Produkt der drei Einzelwahrscheinlichkeiten entsprechen und müßte $0.29 \cdot 0.37 \cdot 0.30 = 0.03$, also 3 % betragen. Tatsächlich ergeben sich aber 13 % Stillstand.

Ebenso wie im Schwachwindbereich macht sich die ausgleichende Wirkung des Verbundes auch im Starkwindbereich bemerkbar. Auch hier ist der Zeitanteil, in dem alle drei Konverter gleichzeitig die Nennleistung erbringen, kleiner als an den einzelnen Standorten (Abb. 15). Im Falle des Verbundes List-Ahlhorn-TW Ems läuft dieser zu 4 % der Zeit, die Einzelkonverter dagegen zu 16 %, 7 % und 17 % der Zeit unter Vollast. Auch hier zeigt die Rechnung aber, daß im Falle der stochastischen Unabhängigkeit der Verbund in nur $0.16 \cdot 0.07 \cdot 0.17 = 0.002$, d.h. in 0.2 % der Zeit unter Vollast liefe. Diese Unterschiede im theoretischen und praktischen Verhalten des Verbundes lassen sich näherungsweise dadurch erklären, daß (bei den beteiligten Entfernungen von ca. 150 km bis 200 km) an allen drei Stationen in etwa 50 % der Fälle die Überschreitung der Vollastschwelle oder die Unterschreitung der Anlaufschwelle gleichzeitig auftreten. Im Falle größerer Entfernungen wird dieser Anteil kleiner, bei kleineren Entfernungen größer. Dieses muß man aber noch als hohe Korrelation der Windwerte untereinander betrachten. Damit zeigt sich, daß zumindest Norddeutschland flächenmäßig nicht groß genug ist, um für einen Verbundbetrieb eine annähernd volle Wirkung zu erbringen.

Einen weiteren Zugang zu den klimatischen Verhältnissen beim Wind eröffnet die Anwendung der sogenannten "Faktorenanalyse" [7]. Dazu werden die Variationen in den gleichzeitigen Zeitreihen des Windes an allen uns verfügbaren Orten hier stochastisch betrachtet. Als ein statistisches Verfahren ist unter anderem das Berechnen von Korrelationskoeffi-

zienten gebräuchlich. Das Ergebnis ist die bekannte Korrelationsmatrix R, die symmetrisch ist und in deren Hauptdiagonalen "1" steht. Ist das Berechnungsverfahren den Verhältnissen entsprechend gewählt worden, dann enthält R die Aussagen über die Zusammenhänge der an der Untersuchung beteiligten Parameter Z_i ($i = 1, \dots, N$). Dabei zeigt R auch hier wieder, daß der Wind auch der am weitesten voneinander entfernten Stationen noch zu mindestens 50 % korreliert ist.

Durch die Anwendung der Faktorenanalyse werden die in der Korrelationsmatrix vorhandenen Strukturen deutlicher hervorgehoben und physikalisch interpretierbar gemacht [8] [9]. Alle meteorologischen Größen unterliegen in einem längeren Zeitabschnitt gewissen Schwankungen, die summarisch durch die statistische Größe "Varianz" beschrieben werden können. Die Faktorenanalyse faßt diejenigen Anteile der Varianz, die mehreren Parametern gemeinsam sind, zu jeweils einem sogenannten "Faktor" zusammen. Ein Faktor ist also eine neue, synthetische Größe, zu der jeweils mehrere meteorologische Parameter anteilig beitragen. Je enger diese verwandt sind (je besser sie untereinander korreliert sind), desto mehr Varianz bringen sie in den gemeinsamen Faktor ein: Desto höher "laden" sie den Faktor. Da nun, wie wir sahen, der Wind an den diversen Stationen nicht ganz voneinander stochastisch unabhängig ist, führt diese Bildung von Faktoren zu einer Verringerung der Variablenanzahl und damit zu einer Vermehrung der Übersichtlichkeit. Mathematisch bedeutet dies, in der symmetrischen Korrelationsmatrix eine Rangerniedrigung über die Bestimmung von Eigenvektoren vorzunehmen.

Offenbar ist es aber nicht möglich, durch einfache Anwendung entsprechender mathematischer Routinen den Rang der Korrelationsmatrix weit genug zu erniedrigen. Es wird nämlich dann für jede Variable deren gesamte Varianz (nicht nur die mehreren Variablen gemeinsame Varianz) auf die entstehenden Faktoren verteilt, und es

kommt zur Bildung von Scheinfaktoren, die physikalisch nicht interpretierbar sind.

Dieses Problem wird dadurch gelöst, daß die Hauptdiagonalelemente der Korrelationsmatrix, die ja üblicherweise identisch 1 sind, durch die jeweiligen Kommunalitäten (immer kleiner als 1) ersetzt werden. Die Kommunalität ist ein Maß dafür, wie gut eine Variable mit anderen verwandt ist (gemeinsame Varianz). Die Kommunalitäten können nur in einem getrennten Verfahren abgeschätzt werden. Es ergeben sich dabei die Mindestanteile der Varianz einer jeden Variablen, die als gemeinsame Varianz auf Faktoren verteilbar ist, und auch die Restvarianz, die nicht verteilt werden darf. Die Restvarianz einer Größe kann als Auswirkung eines physikalischen Prozesses verstanden werden, der nicht durch die übrigen zur Faktorenanalyse herangezogenen Größen beschrieben werden kann. In diesem Falle drückt sich hier die oben angegebene Mindestkorrelation von 50 % aus, d.h. die Varianz, die an allen Stationen gleichzeitig wirkt, wird unterdrückt. Nur die Varianz, die nicht an allen Stationen gemeinsam ist, wird hier auf die Faktoren verteilt und sichtbar gemacht.

Die berechneten Faktoren sind ganz zufällig orientiert und müssen noch so rotiert werden (in die Hauptachsen der Punktwolken gedreht), daß jeder Faktor seine Ladung von möglichst wenigen der ehemaligen Variablen erhält. Diese Drehung wird schrittweise für die Faktoren nacheinander durch Minimierung der quadratischen Abweichungen der Faktoren gegen die Punktwolken vorgenommen. Dabei werden die Faktoren in der Reihenfolge ihrer Gesamt-Varianz verwendet, und es ergibt sich eine eindeutige Lösung.

Aus den Zeitserien der Windgeschwindigkeit an hier 37 beteiligten Orten entwickeln sich durch die Faktorenanalyse nur vier verschiedene Faktoren. Sie können als "Windklimate" verstanden werden, da innerhalb der Gebiete die Variationen des Windes weitgehend gleich-

sinnig verlaufen. Wir haben sie in den Abbildungen 16 bis 19 als "Niedersachsen", "Nordsee", "Schleswig" und "Ostsee" bezeichnet, da die Schwerpunkte der Faktoren in den genannten Gebieten liegen. Weitere Faktoren bilden sich überraschenderweise nicht. Das ändert sich auch nicht, wenn statt aller Windwerte des Jahres nur einzelne Jahreszeiten betrachtet werden (hier ist der Sommer dargestellt) oder, um den Tagesgang des Windes auszuschalten, statt der einzelnen Windwerte Tagesmittelwerte für die Analyse verwendet werden.

An den in den Abbildungen 16 bis 19 dargestellten Linien gleicher Varianzanteile (die nämlich von der Windvarianz am Ort dem Faktor zugehören) lassen sich wieder die gleichen typischen Eigenheiten erkennen, die schon früher (Abb. 7 bis 12) ersichtlich waren. Die breiten Urstromtäler der Elbe, Weser und Ems hängen in ihrem Windklima weit mehr mit der Nordsee (Abb. 17) als mit den Geestgebieten dazwischen zusammen und stellen Einbrüche in den Landwindklimaten dar (Abb. 16 u. 18).

Daraus läßt sich schließen, daß diejenigen Verbunde von Windkonvertern die größtmögliche Wirkung entfalten, deren Komponenten in den Zentren der verschiedenen Windklimate stehen. Dabei ist allerdings wieder die Tatsache der Basis-Korrelation von 50 % für alle Orte zu bedenken. Die geringste Verbundwirkung andererseits werden Verbunde zeigen, die insgesamt nur einem Windklima angehören (z.B. "Farmen").

Abschließend soll von einer weiteren Untersuchungsmethode zur Abschätzung der meteorologischen Einflüsse auf ein potentiell Verbandsystem berichtet werden, deren Ergebnisse noch nicht vollständig vorliegen. Wir haben einige Paare von Windkollektiven verschiedener Stationen einer Spektralanalyse unterzogen. Die daraus entstehenden Co- und Quadratur-Spektren lassen sich auch äquivalent zu Amplituden- und Phasenspektren umrechnen. Ein Beispiel eines Phasenspektrums für das Stationspaar Helgoland und Westermarcksdorf (Fehmarn)

zeigt die Abbildung 20 unten. Die Abszisse dieser Darstellung ist die Periodenlänge in Tagen bzw. Stunden. Die Ordinate ist nach Bruchteilen der Periodendauer (eine ganze Periode = 1) geteilt. Es zeigt sich, daß alle Schwingungen des Windes mit einer Periode von mehr als 10 Stunden um den ziemlich konstanten Betrag von 5 Stunden später auf Fehmarn als auf Helgoland eintreffen. Die 5-Stunden-Verschiebung ist als gepunktete Linie in die Darstellung aufgenommen. Dies entspricht einer meteorologisch plausiblen mittleren Wanderungsgeschwindigkeit der Windfelder von ca. 13 m/s.

Wenn man das Powerspektrum des Windes dazu nimmt (Abb. 20 oben), das als Ordinate die Varianz des Windes pro Periodenintervall besitzt, wird deutlich, warum das Phasenspektrum für Perioden kleiner als 10 Stunden keine erkennbare Ordnung mehr zeigt. Die Schwingungsenergie derartiger Perioden ist nämlich sehr klein und daher sicher stark von Zufälligkeiten überlagert. Noch kleiner sind die Energieanteile in den nicht dargestellten Co- und Quadratur-Spektren, so daß daraus zu schließen ist, daß Perioden kürzer als etwa 10 Stunden im Wind mehr lokale Effekte darstellen, die sich nicht über weitere Strecken persistent erhalten.

Das Maximum der Schwingungsenergie ist im Powerspektrum im Bereich 5 Tage bis 3 Tage zu erkennen. Dieses ist die Dauer der in der Meteorologie sogenannten "synoptischen" Variationen, d.h. diese Zeit charakterisiert die Aufeinanderfolge zweier "Hoch-" bzw. "Tief"-Druckgebiete unseres täglichen Wetters. Die Länge eines Abschnittes mit stärkerem Wind beträgt also im Mittel rund 50 Stunden. Dabei wird von 2 Konvertern in Helgoland und Fehmarn zuerst der eine, zum Schluß der andere allein je 5 Stunden von diesem Feld überstrichen, das macht $10/50$ Stunden = 20 % der Zeit, in denen nur einer von zwei Konvertern gut arbeitet. Dieser Anteil wächst noch, wenn drei Konverter am Verbund beteiligt sind. Er hat damit die

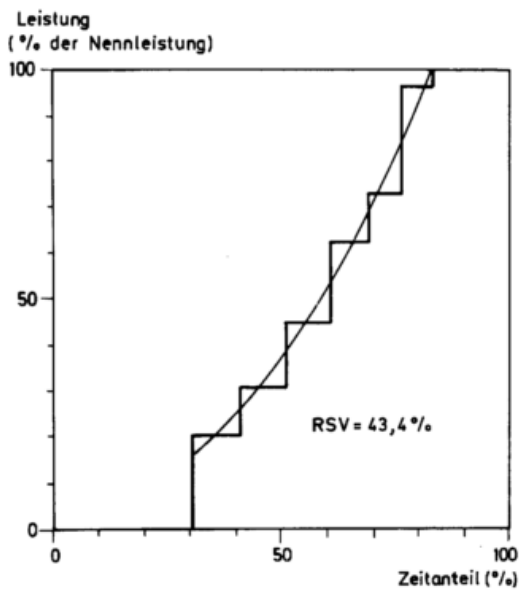
gleiche Größenordnung wie unsere Abschätzung oben von 50 % Unabhängigkeit und läßt den gleichen Schluß zu, daß nämlich ein Verbundsystem allein in Norddeutschland nicht seine optimale Wirkung entfalten kann.

6 LITERATUR

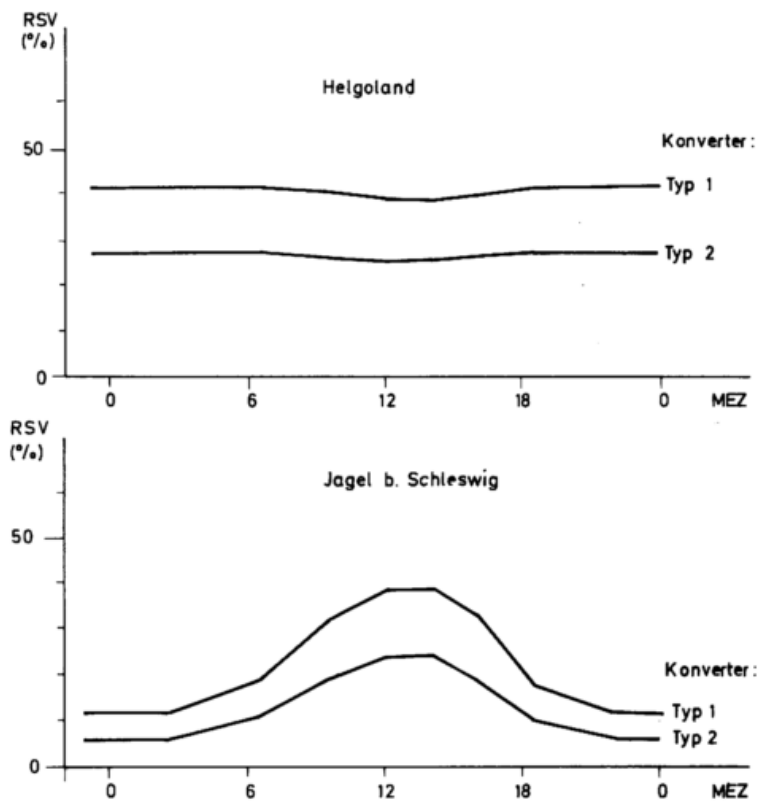
- [1] WIERINGA, J.: Gust factors over open waters and built-up country. *Boundary-Layer Meteorol.* 3 (1973) Nr. 4, S. 424-441.
- [2] WIERINGA, J.: Representativeness of wind observation at airports. *Bull. of the Amer. Meteorol. Soc.* 61 (1980) Nr. 9, S. 962-971.
- [3] BENESCH, W.; DUENSING, D.; JURKSCH, G.; ZÖLLNER, R.: Die Windverhältnisse in der Bundesrepublik Deutschland im Hinblick auf die Nutzung der Windkraft. Tl. I: Binnenland, Tl. II: Küstenvorfeld. *Ber. d. Dt. Wetterd.* Nr. 147 (1978), 130 S.
- [4] FRANKENBERGER, E.: Über vertikale Temperatur-, Feuchte- und Windgradienten in den untersten 7 Dekametern der Atmosphäre, den Vertikalaustausch und den Wärmehaushalt an Wiesenböden bei Quickborn/Holstein 1953/54. *Ber. d. Dt. Wetterd.* 3 (1955) Nr. 20, 17 S.
- [5] ROTH, R.; TETZLAFF, R.: Ursachen und Auswirkungen des Low-Level-Jet im Küstenbereich. *Persönl. Mitt.* 1981.
- [6] KOTTMEIER, CH.: Der nächtliche Grenzschicht-Strahlstrom über Norddeutschland. *Seminarvotr. Dt. Meteorol. Gesell.* 1982.
- [7] HOFFMANN, L.: Möglichkeiten einer Klimaklassifikation mit Hilfe der zweimaligen Anwendung der Faktorenanalyse. *Ber. d. Dt. Wetterd.* Nr. 152 (1980), 92 S.
- [8] HARMAN, H.H.: *Modern Factor Analysis.* University of Chicago Press 1960.
- [9] ÜBERLA, K.: *Faktorenanalyse.* 2. Aufl. Berlin: Springer Verlag 1971, 399 S.

Anhang zu Teil IV: Verzeichnis der Abbildungen

- Abb. 1: Leistungsdiagramm Konverter Typ 2 für TW Ems, 1972 bis 1977, 11 Uhr bis 16 Uhr, Höhe 50 m (extrapoliert)
- Abb. 2: Tagesgang der relativen systembedingten Verfügbarkeit RSV, Höhe 25 m (extrapoliert), März bis Oktober
- Abb. 3: Vertikalprofile der mittleren Windgeschwindigkeit Quickborn, Juni und Dezember, jeweils 12 Uhr und 02 Uhr MEZ
- Abb. 4: Richtungsabhängigkeit des Rauigkeitsparameters Z_0 für die Station 10038 Hohn
- Abb. 5: Wahrscheinliche Höhenabhängigkeit der relativen systembedingten Verfügbarkeit RSV für Konverter Typ 2 (Inselbetrieb) an den Stationen TW Ems und Jagel
- Abb. 6: Regionale Verteilung der RSV, Konverter Typ 1, Höhe 10 m, alle Monate, 0 Uhr bis 24 Uhr
- Abb. 7: Regionale Verteilung der RSV, Konverter Typ 2, Höhe 10 m, alle Monate, 0 Uhr bis 24 Uhr
- Abb. 8: Regionale Verteilung der RSV, Konverter Typ 2, Höhe 50 m (extrapoliert), alle Monate, 0 Uhr bis 24 Uhr
- Abb. 9: Regionale Verteilung der RSV, Konverter Typ 2, Höhe 50 m (extrapoliert), alle Monate, 11 Uhr bis 16 Uhr
- Abb. 10: Regionale Verteilung des "Stillstands" (Leistung = 0), Konverter Typ 1, Höhe 10 m, alle Monate, 0 Uhr bis 24 Uhr
- Abb. 11: Regionale Verteilung des "Stillstands" (Leistung = 0), Konverter Typ 2, Höhe 50 m (extrapoliert), alle Monate, 0 Uhr bis 24 Uhr
- Abb. 12: Regionale Verteilung des "Stillstands" (Leistung = 0), Konverter Typ 2, Höhe 50 m (extrapoliert), alle Monate, 11 Uhr bis 16 Uhr
- Abb. 13: Dreifach-Verbund: Regionale Verteilung des "Stillstands" (Verbund-Leistung = 0), Konverter Typ 1, Höhe 10 m, alle Monate, 0 Uhr bis 24 Uhr
- Abb. 14: Dreifach-Verbund: Regionale Verteilung des "Stillstands" (Verbund-Leistung = 0), Konverter Typ 2, Höhe 50 m (extrapoliert), alle Monate, 11 Uhr bis 16 Uhr
- Abb. 15: Dreifach-Verbund: Regionale Verteilung "Vollast" (Verbund-Leistung 100 %), Konverter Typ 2, Höhe 50 m (extrapoliert), alle Monate, 11 Uhr bis 16 Uhr
- Abb. 16: Faktorenanalyse: Prozentuale Varianzanteile Faktor 1 "Niedersachsen"
- Abb. 17: Faktorenanalyse: Prozentuale Varianzanteile Faktor 2 "Nordsee"
- Abb. 18: Faktorenanalyse: Prozentuale Varianzanteile Faktor 3 "Schleswig"
- Abb. 19: Faktorenanalyse: Prozentuale Varianzanteile Faktor 4 "Ostsee"
- Abb. 20: Spektralanalyse: Powerspektrum der Zeitserie des Windes von Helgoland (oben)
Spektrale Verteilung der Phasenverschiebung der Zeitserien für das Stationspaar Helgoland und Westermarkelsdorf (Fehmarn) (unten)

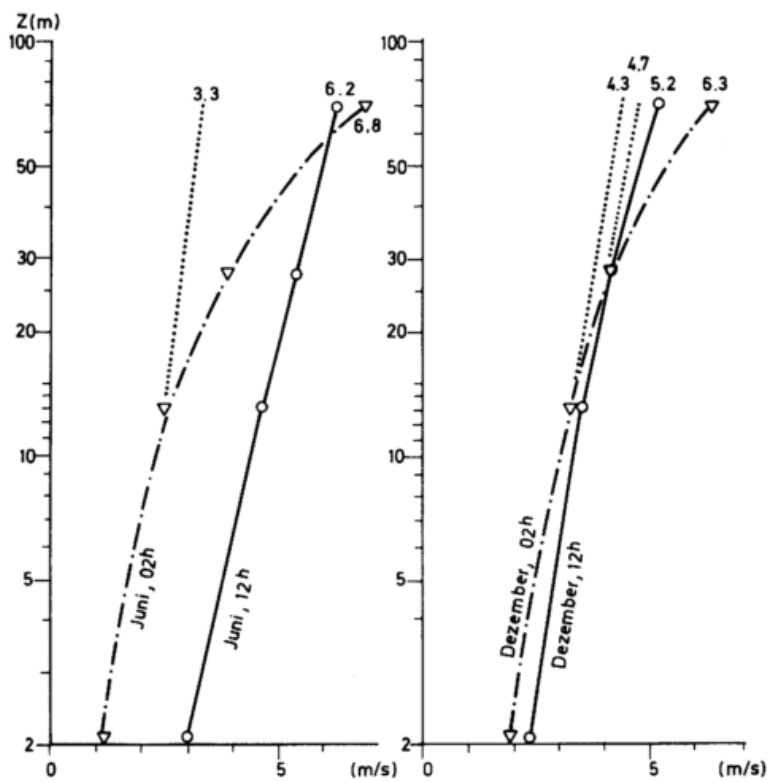


Leistungsdiagramm Konverter Typ 2
für TW Ems, 1972 - 1977, nur 11-16^h
Höhe 50m (extrapoliert)
Abb. 1



Tagesgang der relativen systembedingten Verfügbarkeit
Höhe 25m (extrapoliert), März bis Oktober

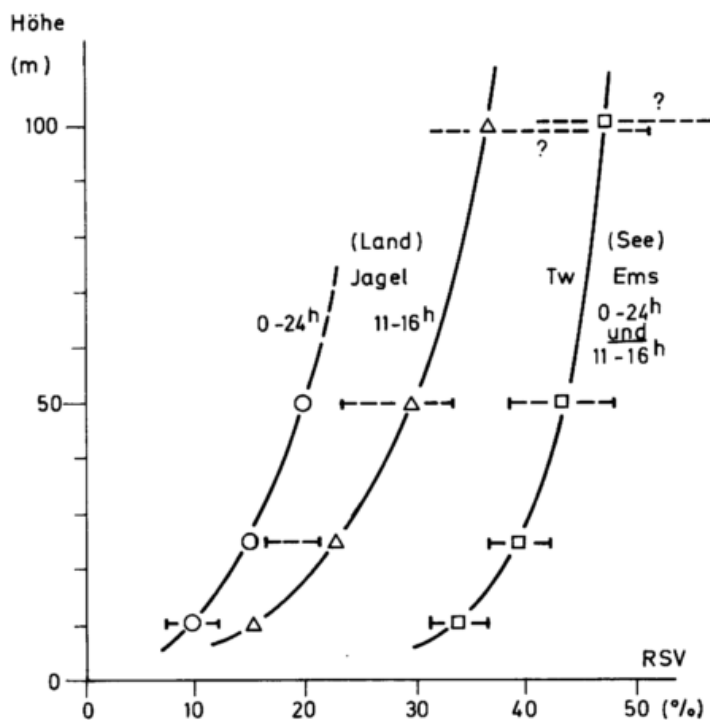
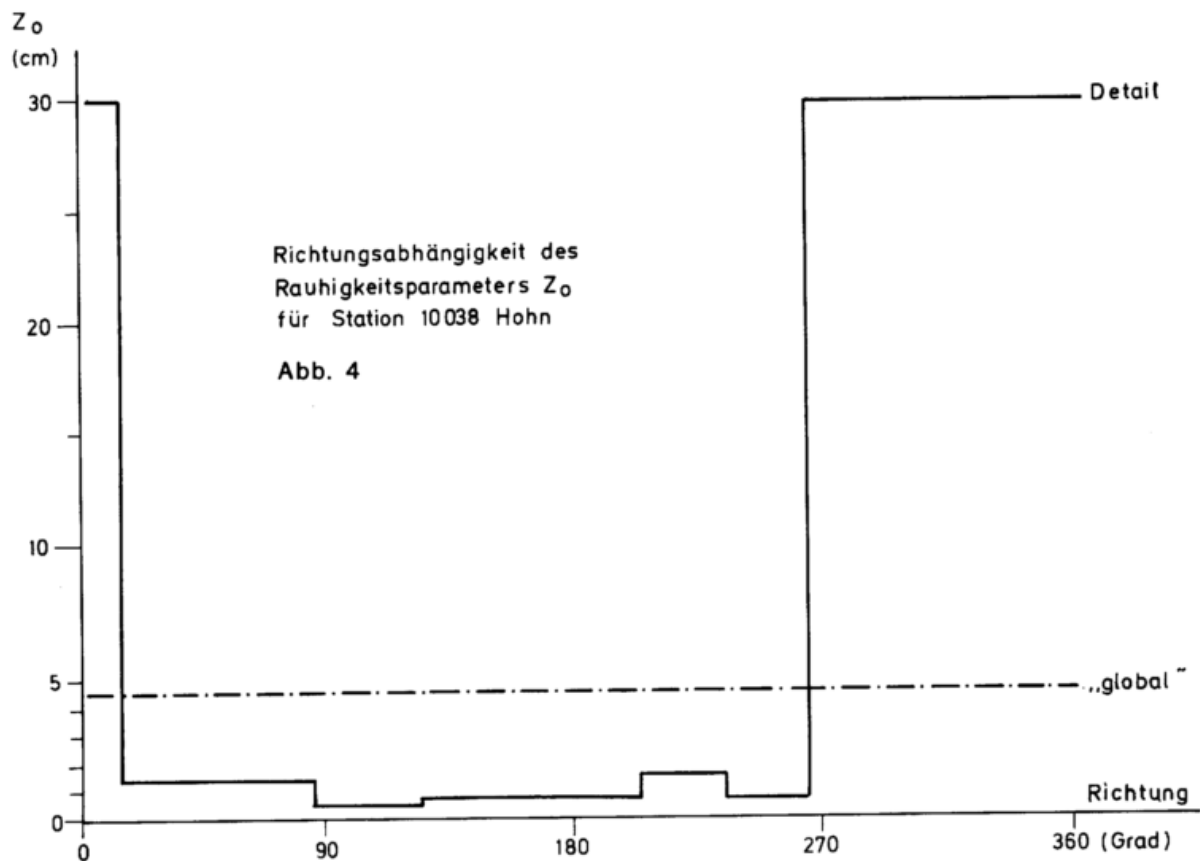
Abb. 2



Quickborn b. Hamburg:

Vertikalprofile der mittleren Windgeschwindigkeit
Juni, Dezember, jeweils 12^h, 02^h MEZ
(nach Frankenberger, 1962)

Abb. 3



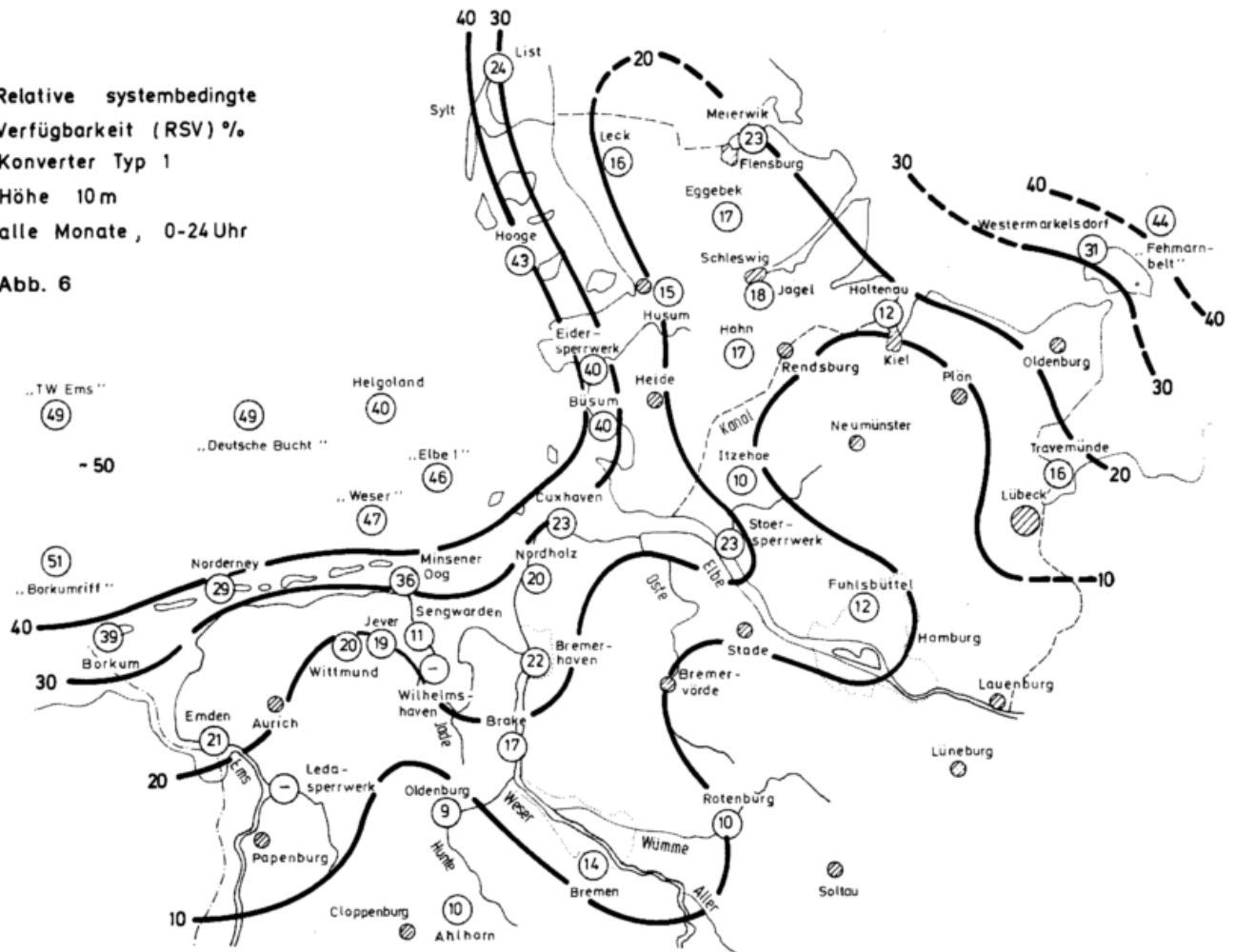
Wahrscheinliche Höhenabhängigkeit der
relativen systembedingten Verfügbarkeit
(RSV) für Konverter Typ 2 (Inselbetrieb)

○△□ Berechnet aus extrapolierten Bodenwinddaten
↔ vermuteter Bereich der tatsächlichen RSV

Abb. 5

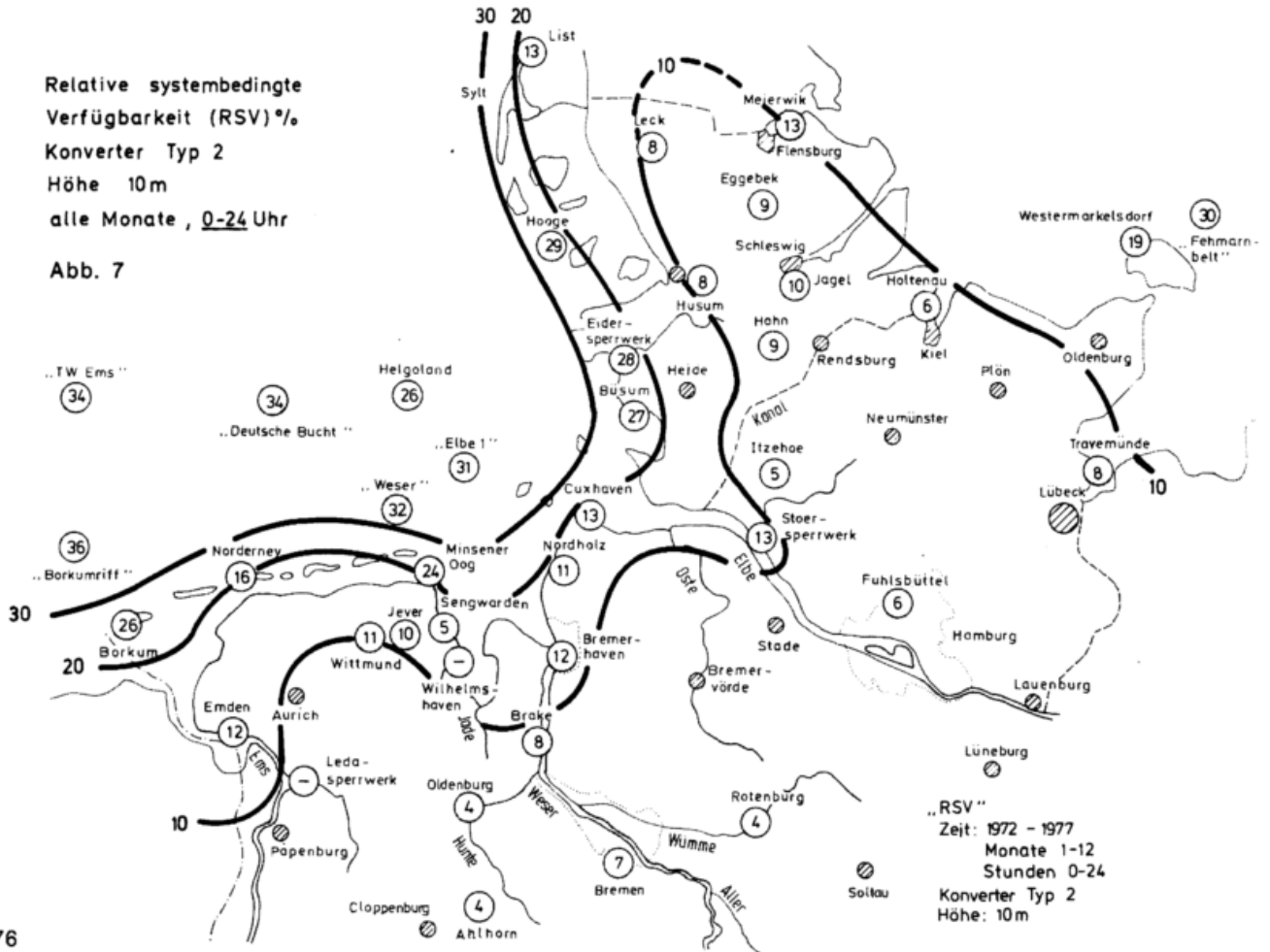
Relative systembedingte
Verfügbarkeit (RSV) %
Konverter Typ 1
Höhe 10m
alle Monate, 0-24 Uhr

Abb. 6



Relative systembedingte
Verfügbarkeit (RSV) %
Konverter Typ 2
Höhe 10m
alle Monate, 0-24 Uhr

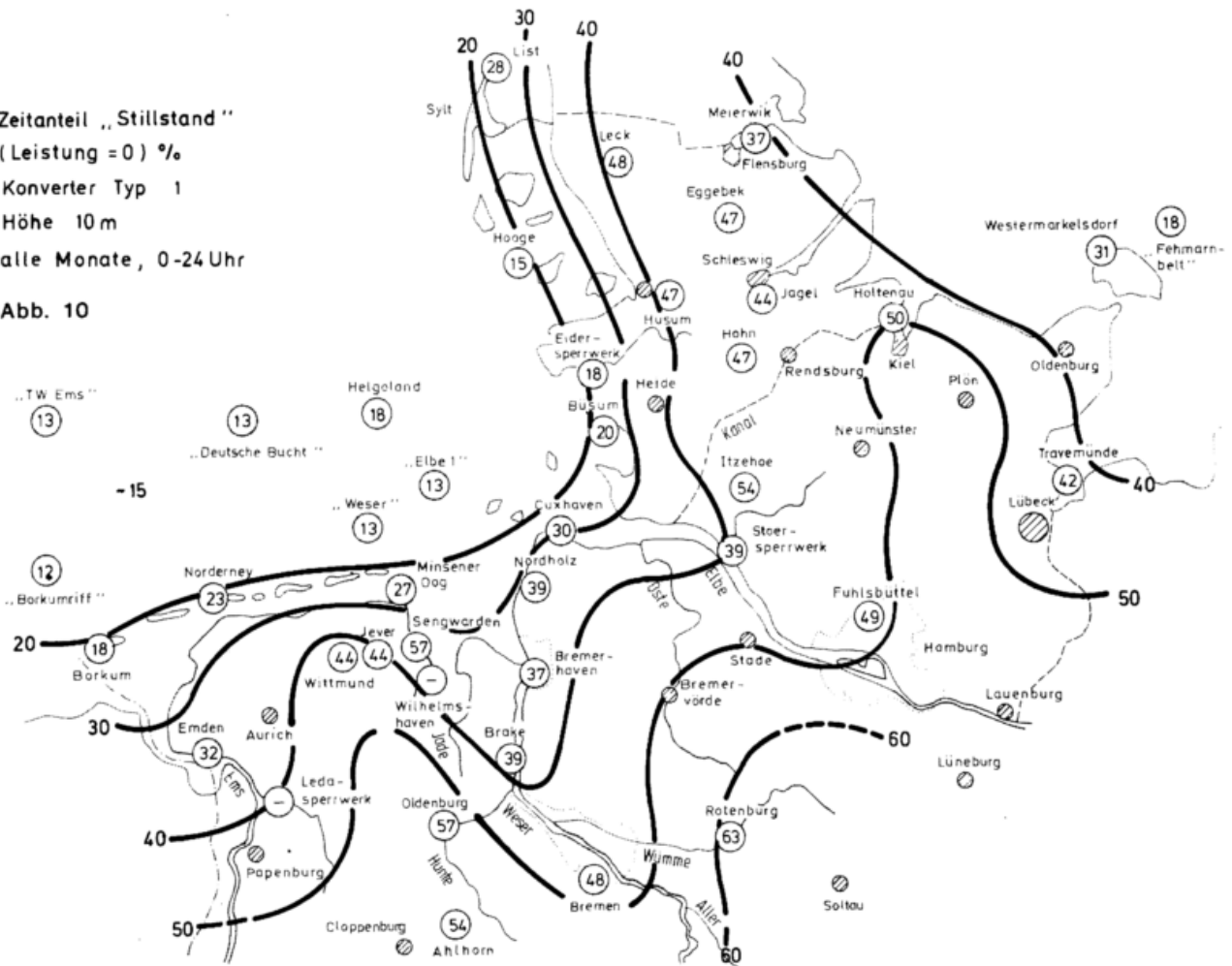
Abb. 7



„RSV“
Zeit: 1972 - 1977
Monate 1-12
Stunden 0-24
Konverter Typ 2
Höhe: 10m

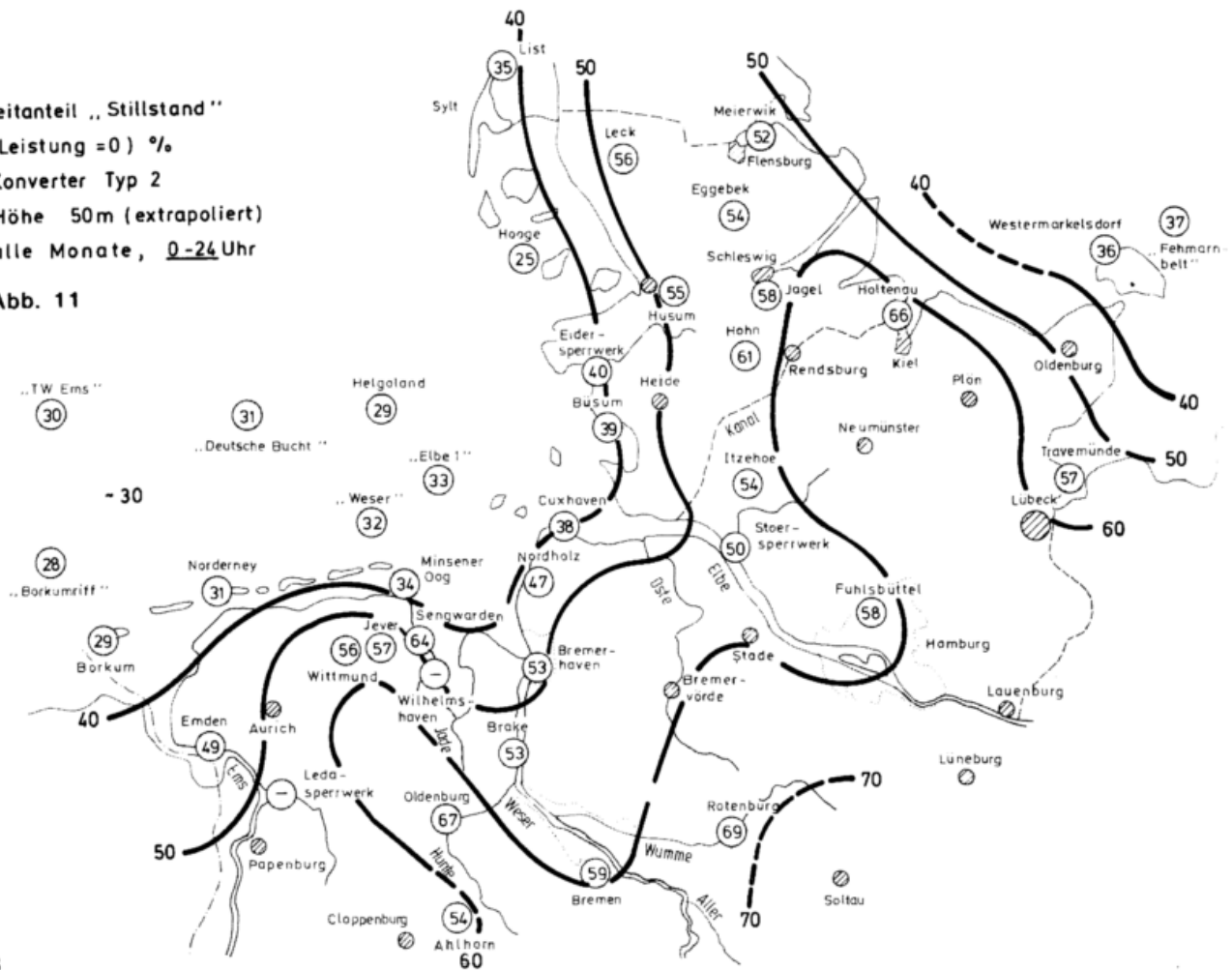
Zeitanteil „Stillstand“
 (Leistung = 0) %
 Konverter Typ 1
 Höhe 10 m
 alle Monate, 0-24 Uhr

Abb. 10



Zeitanteil „Stillstand“
 (Leistung = 0) %
 Konverter Typ 2
 Höhe 50m (extrapoliert)
 alle Monate, 0-24 Uhr

Abb. 11



Zeitanteil „Stillstand“

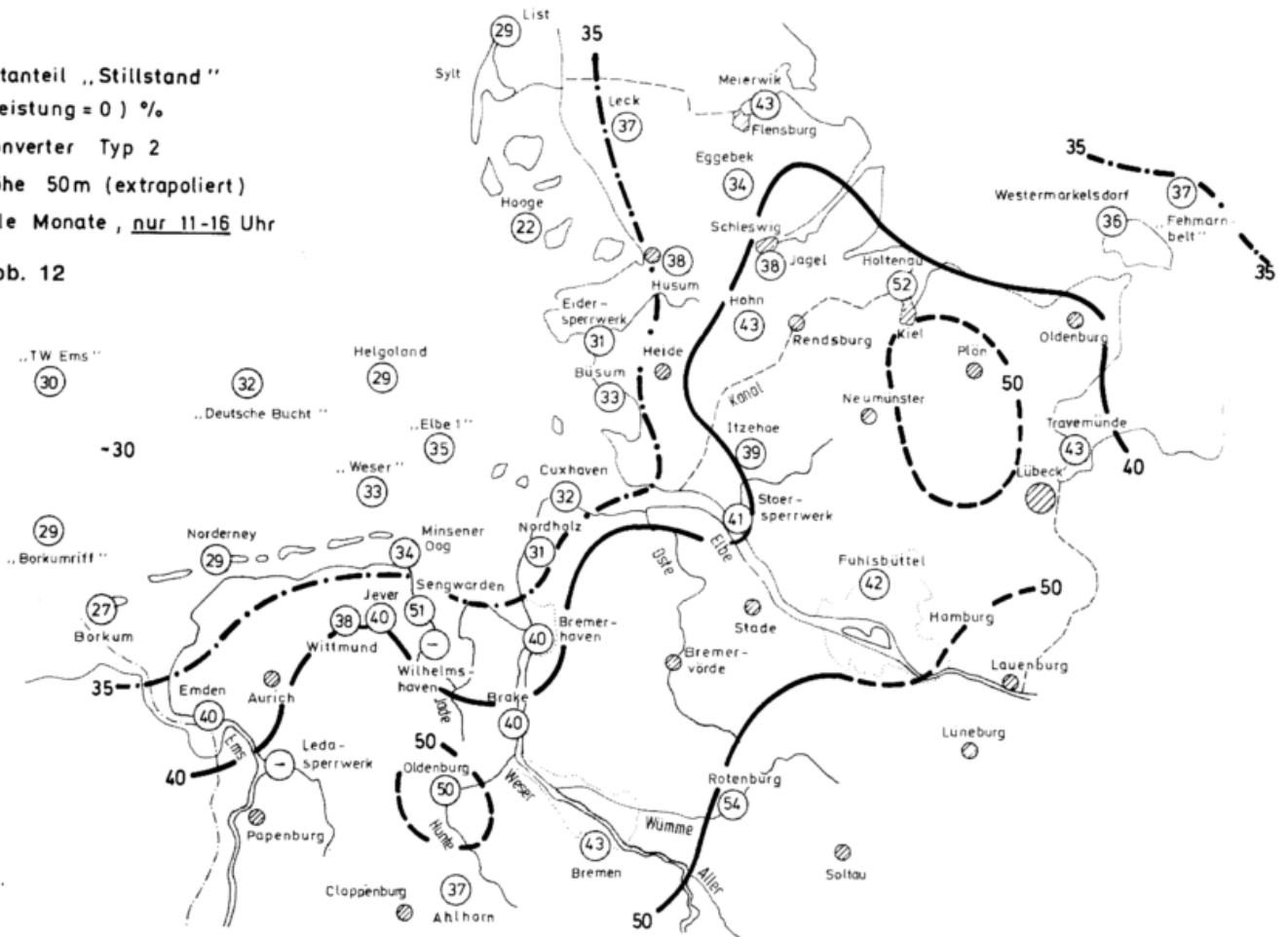
(Leistung = 0) %

Konverter Typ 2

Höhe 50m (extrapoliert)

alle Monate, nur 11-16 Uhr

Abb. 12



Zeitanteil % mit

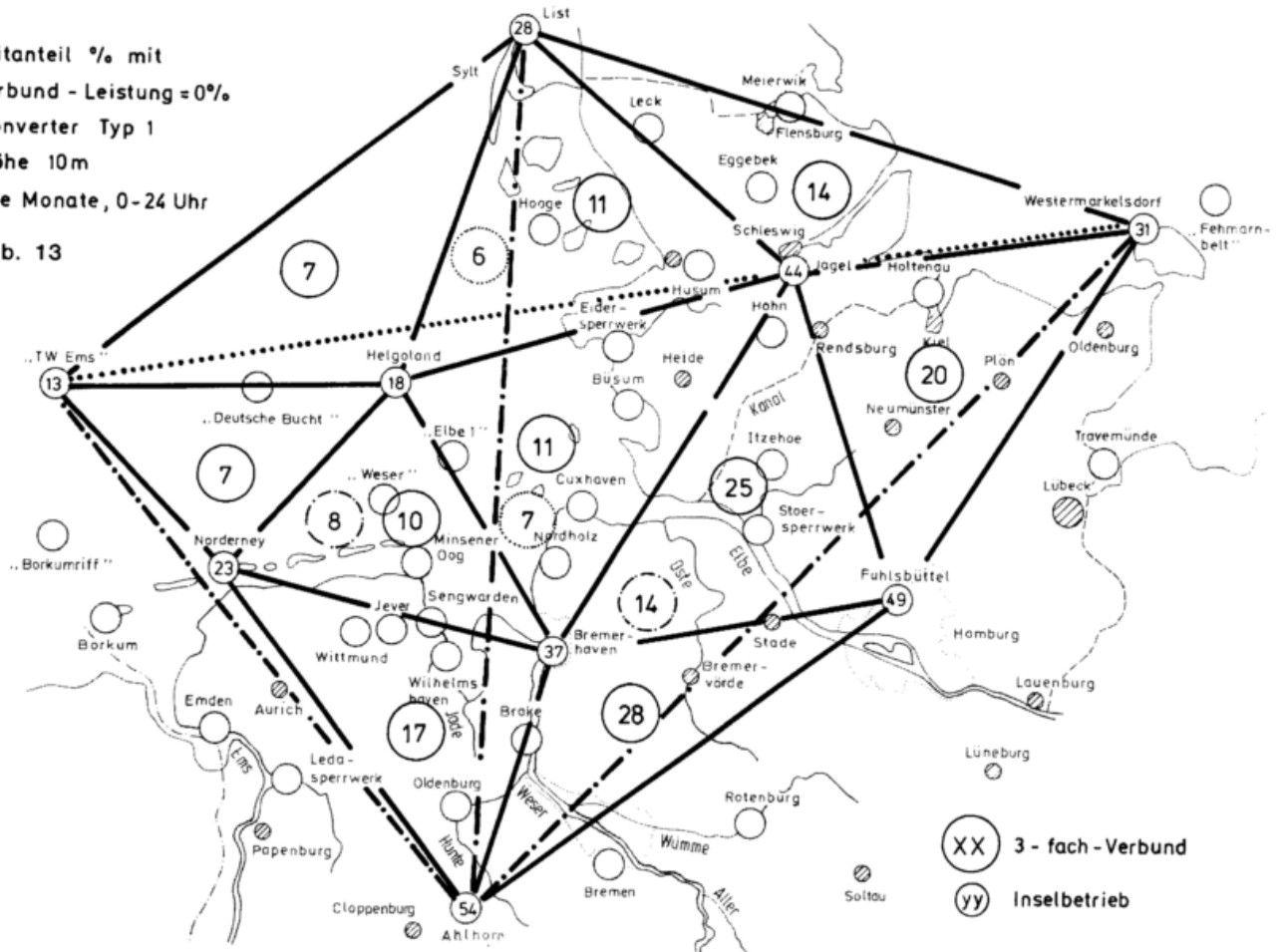
Verbund - Leistung = 0%

Konverter Typ 1

Höhe 10m

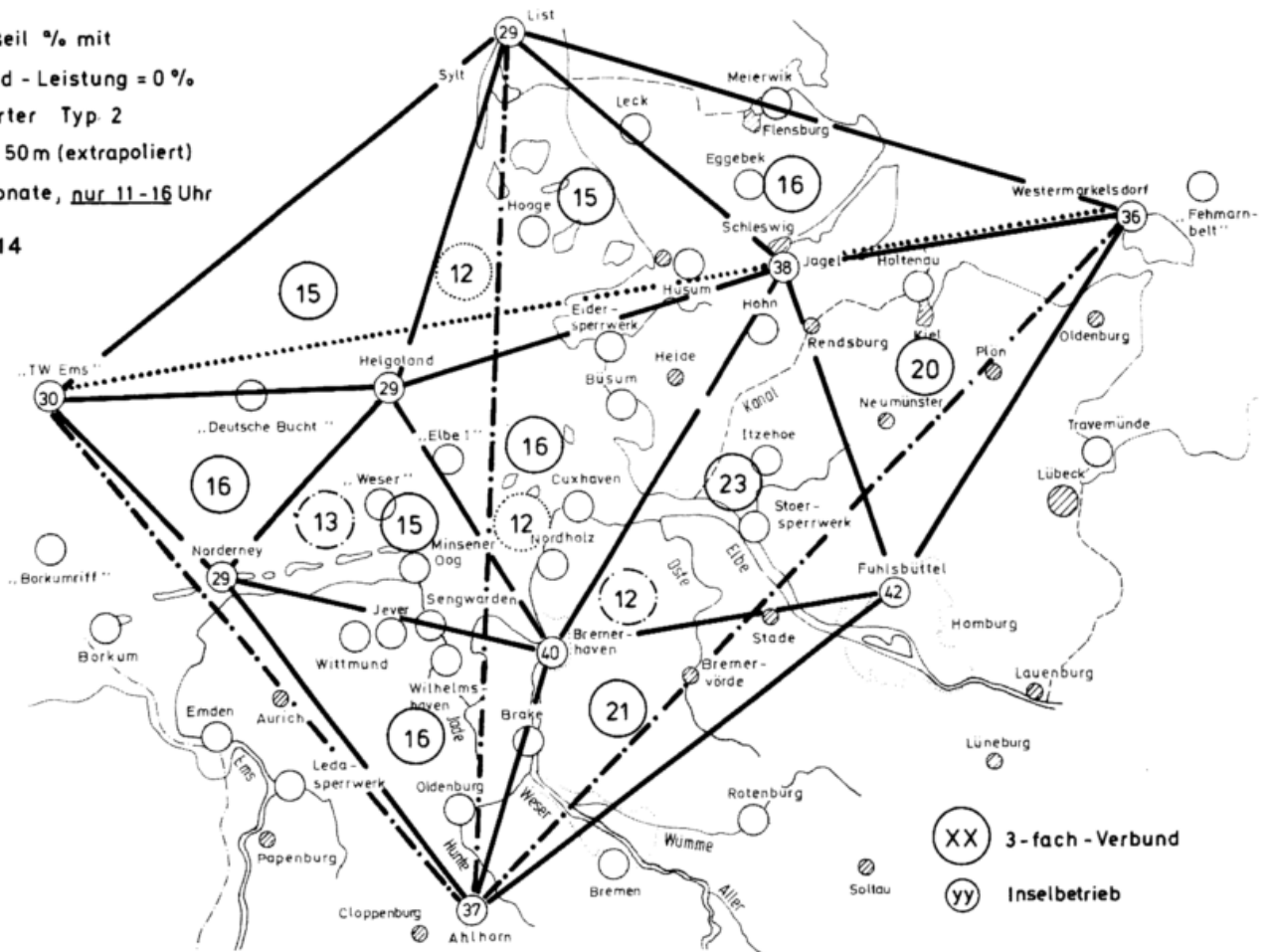
alle Monate, 0-24 Uhr

Abb. 13



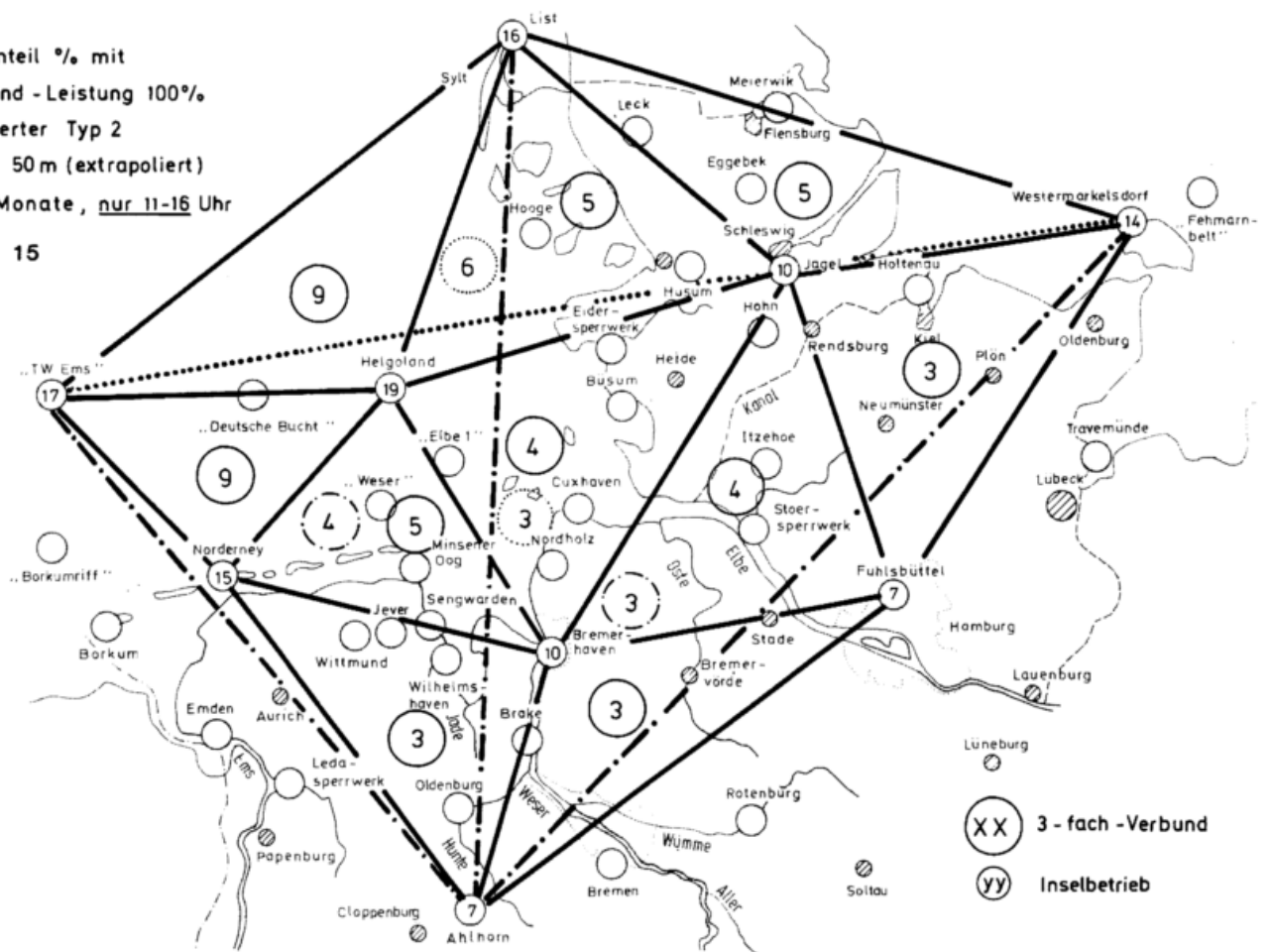
Zeitanteil % mit
 Verbund - Leistung = 0 %
 Konverter Typ 2
 Höhe 50 m (extrapoliert)
 alle Monate, nur 11-16 Uhr

Abb. 14

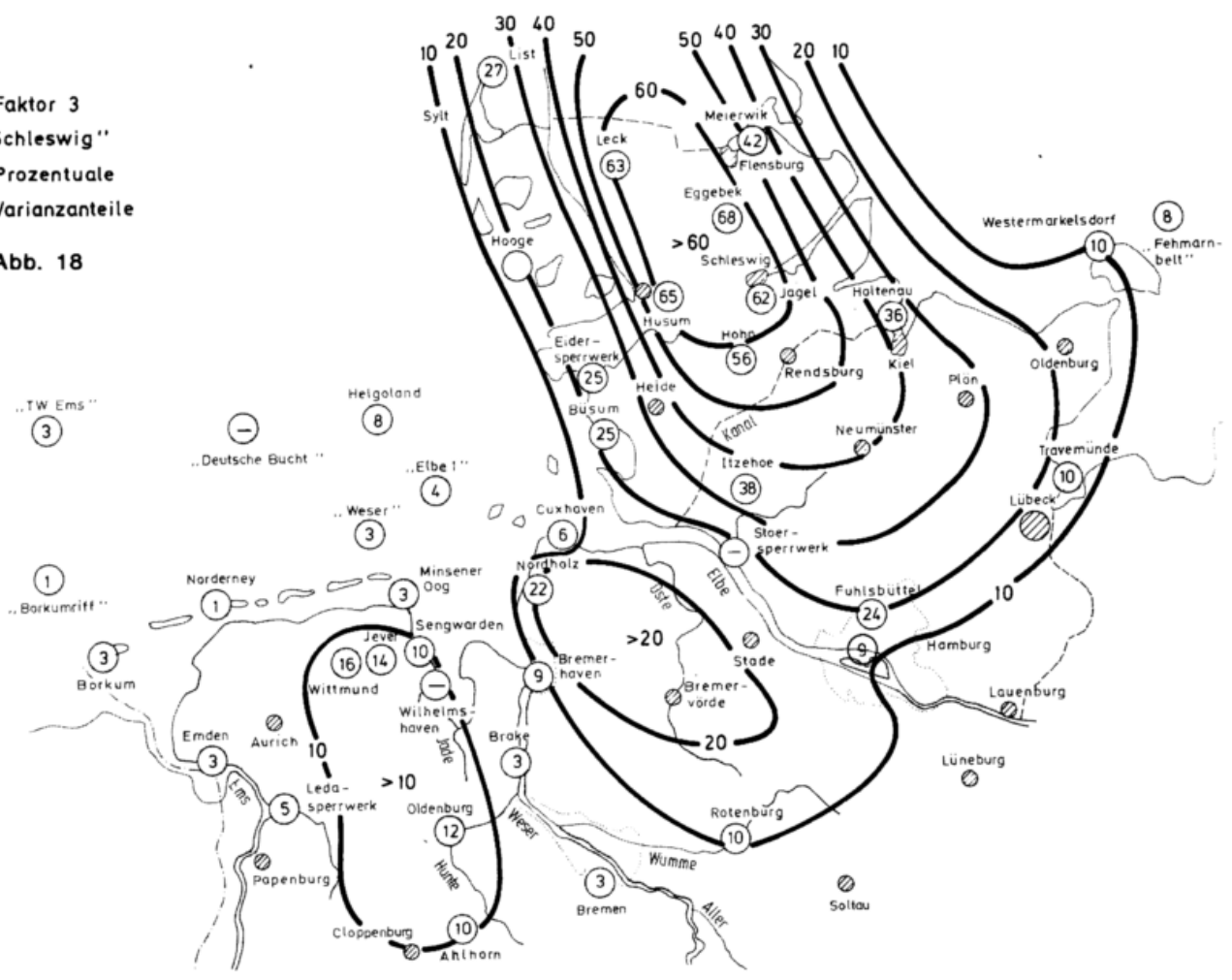


Zeitanteil % mit
 Verbund - Leistung 100 %
 Konverter Typ 2
 Höhe 50 m (extrapoliert)
 alle Monate, nur 11-16 Uhr

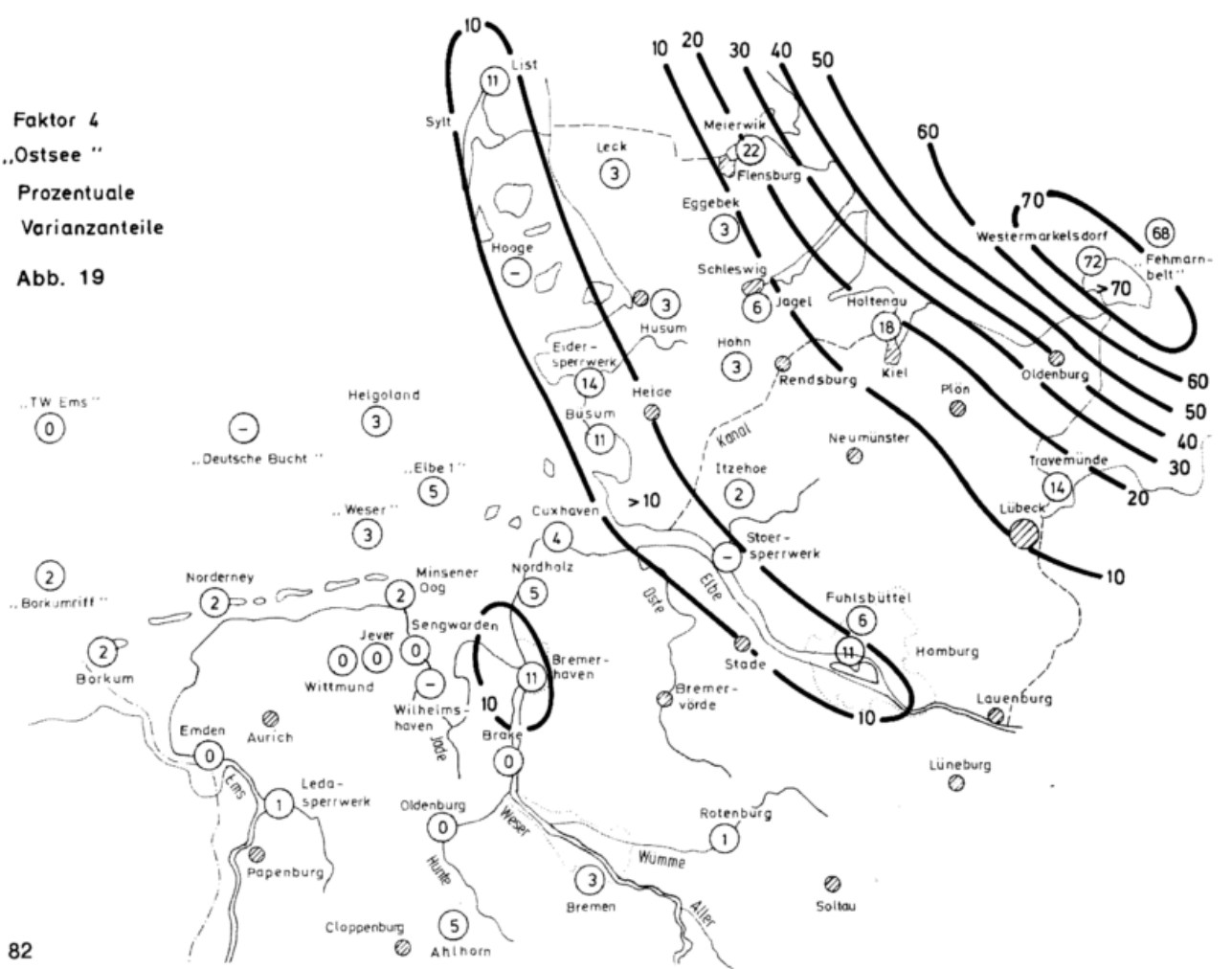
Abb. 15



Faktor 3
 „Schleswig“
 Prozentuale
 Varianzanteile
 Abb. 18



Faktor 4
 „Ostsee“
 Prozentuale
 Varianzanteile
 Abb. 19



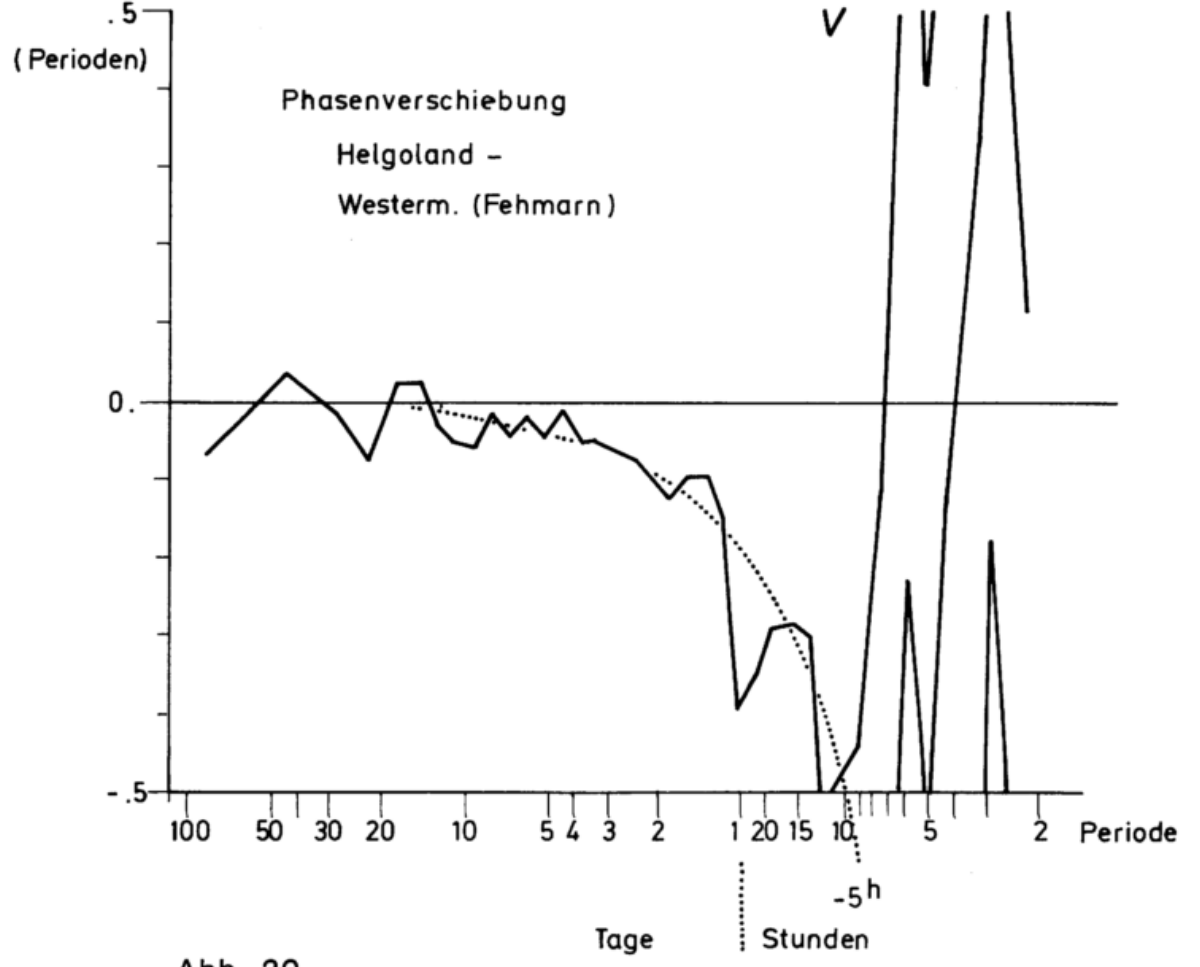
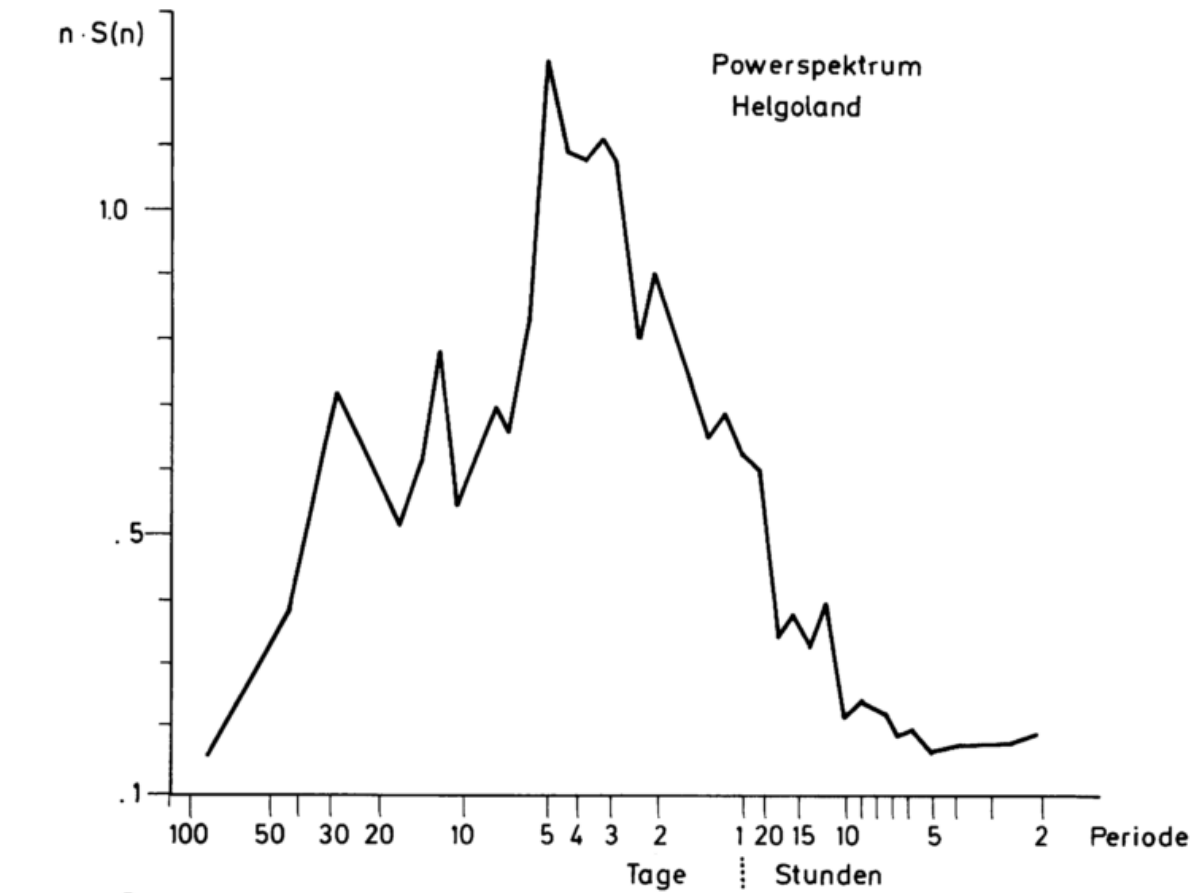


Abb. 20

