

Die Richtungsabhängigkeit der  
Extremböen in Nord- und  
Westdeutschland

**T 2011**

T 2011

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Die Originalmanuskripte wurden reprototechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprototechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

Vervielfältigung, auch auszugsweise,  
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

**Fraunhofer IRB Verlag**

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69  
70504 Stuttgart

Nobelstraße 12  
70569 Stuttgart

Telefon (07 11) 9 70 - 25 00  
Telefax (07 11) 9 70 - 25 08

E-Mail [irb@irb.fraunhofer.de](mailto:irb@irb.fraunhofer.de)

[www.baufachinformation.de](http://www.baufachinformation.de)

\* Maxwind

DWD-SWA Proj52

11. Feb. 88

# DIE RICHTUNGSABHÄNGIGKEIT DER EXTREMBÖEN IN NORD- UND WESTDEUTSCHLAND

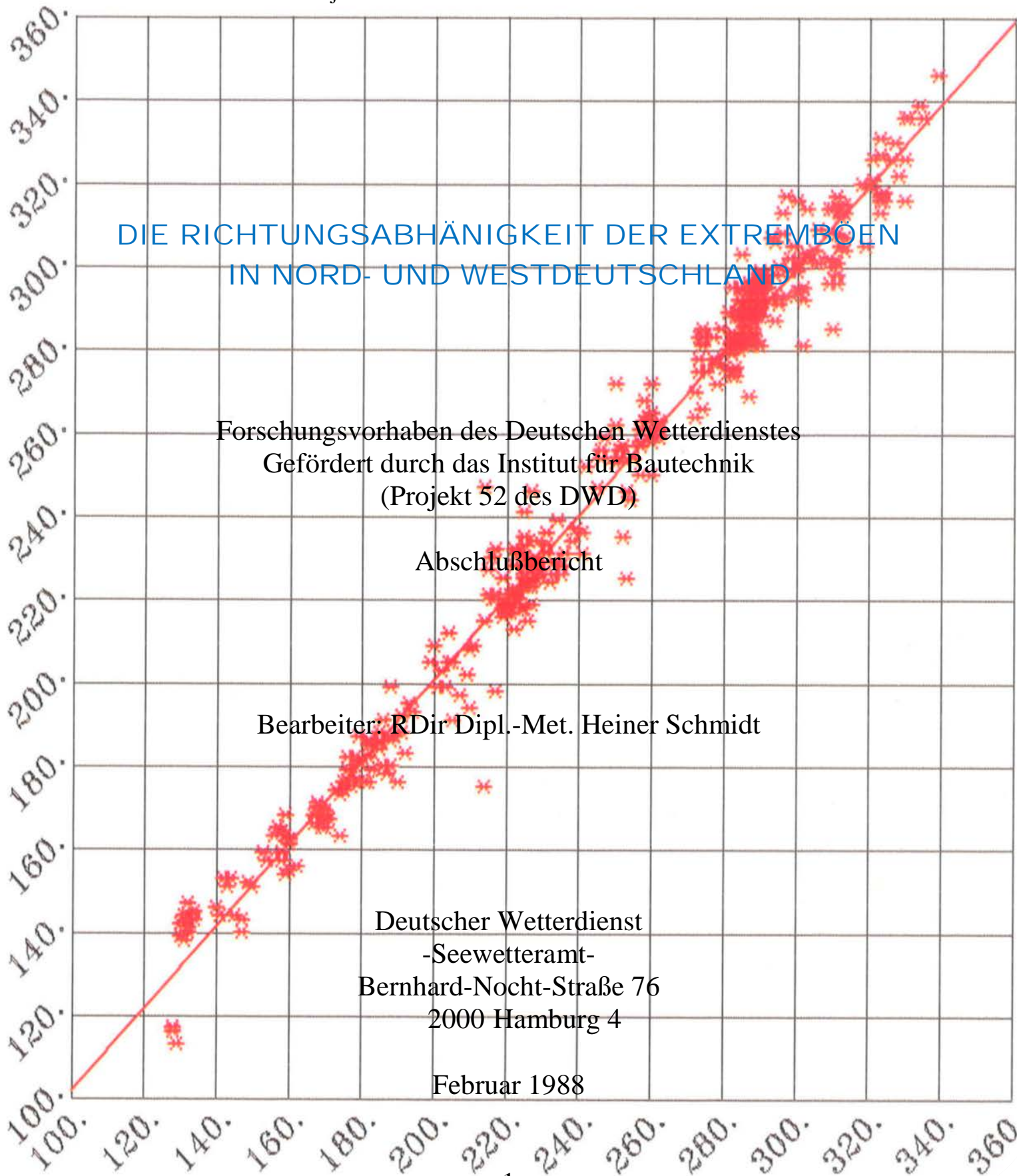
Forschungsvorhaben des Deutschen Wetterdienstes  
Gefördert durch das Institut für Bautechnik  
(Projekt 52 des DWD)

Abschlußbericht

Bearbeiter: RDir Dipl.-Met. Heiner Schmidt

Deutscher Wetterdienst  
-Seewetteramt-  
Bernhard-Nocht-Straße 76  
2000 Hamburg 4

Februar 1988



# DIE RICHTUNGSABHÄNGIGKEIT DER EXTREMBÖEN IN NORD- UND WESTDEUTSCHLAND

Forschungsvorhaben des Deutschen Wetterdienstes  
Gefördert durch das Institut für Bautechnik  
(Projekt 52 des DWD)

Abschlußbericht

Bearbeiter: RDir Dipl.-Met. Heiner Schmidt

Deutscher Wetterdienst  
-Seewetteramt-  
Bernhard-Nocht-Straße 76  
2000 Hamburg 4

Februar 1988

Inhalt

1. Zusammenfassung
2. Abstract
3. Einleitung
4. Stationen und Daten
5. Auswertemethodik
  - 5.1 Probleme der Klasseneinteilung
  - 5.2 Anpassung der Weibull-Verteilung
6. Ergebnisse
  - 6.1 Vorbemerkung zur Darstellung des Windvektors
  - 6.2 Führungseffekte
  - 6.3 Die Richtungsverteilung extremer Böen
7. Schlußfolgerungen für die Bautechnik
8. Literatur

## 1. Zusammenfassung

Die Untersuchung befaßt sich mit der Ableitung der Richtungsabhängigkeit extremer Böen für verschiedene mittlere Wiederkehrperioden bis zu 50 Jahren. Sie wurde durch eine Anfrage des Normenausschuß "Bauwesen" veranlaßt, ob Angaben über eine Richtungsabhängigkeit der Berechnungswindgeschwindigkeit möglich sind und ob diese die Annahme richtungsabhängiger Windlasten bei Sicherheitsnachweisen von Baukonstruktionen rechtfertigen würden. Damit in Verbindung erhob sich die Frage, ob auf der Grundlage des vorhandenen Datenmaterials Aussagen über die Richtungsabhängigkeit der Extremböen gegeben werden können.

Dazu wurden die stündlichen Maximalböen der 11 Jahre 1972-82 von 10 Stationen zu Überschreitungshäufigkeiten für 36 übergreifende Richtungssektoren von je 30 Grad Breite mit Windgeschwindigkeitsklassen von 1 m/s zusammengefaßt. Für jeden Sektor wurde eine Weibull-Verteilung angepaßt und bis zur Überschreitungshäufigkeit von "einmal pro 50 Jahren" (mittlere Wiederkehrperiode von 50 Jahren) extrapoliert. Da die Richtung der Böen nicht vorliegt, wird angenommen, daß sie im Mittel um nicht mehr als 15 Grad von der mittleren Windrichtung der Stunde abweicht. Es kann gezeigt werden, daß diese Annahme im allgemeinen für Stürme richtig ist.

Vier der Stationen weisen bei schwächerem Wind ausgeprägte Führungseinflüsse durch Berge oder Täler quer zur Hauptwindrichtung auf. Es zeigt sich, daß sich diese bei den 50-Jahres-Böen erwartungsgemäß kaum noch ausprägen, die höchsten Werte liegen stets bei westlichen Richtungen. Dennoch ist die Richtungsverteilung in der Bundesrepublik nicht völlig einheitlich. Die Richtung der höchsten 50-Jahres-Böen schwankt an den 10 Stationen zwischen 220 und 290 Grad, die mittlere Richtung des Maximums beträgt 260 Grad.

Zu beiden Seiten vom Maximum fallen die 50-Jahres-Böen nicht sehr schnell ab. Die Breite des Winkelbereiches, in dem die Böengeschwindigkeiten mehr als 84% des maximalen 50-Jahres-Wertes betragen, ist im Mittel größer als 90 Grad. 84% im Wind entspricht 70% im Staudruck. Die Lage dieses Winkelbereiches ist an den 10 Stationen recht unterschiedlich. Er liegt in Nürnberg zwischen 192 und 293 Grad, in Bremerhaven dagegen mehr nordwestlich zwischen 210 und 9 Grad. Die äußersten linken und rechten Ränder dieser Winkelbereiche liegen also praktisch um 180 Grad auseinander, die o.a. mittlere Richtung der maximalen 50-Jahres-Böen liegt mit 260 Grad fast in deren Mitte.

Somit ergibt sich, daß bei einer für die Bundesrepublik einheitlich auf 260 Grad festzulegenden Hauptrichtung die Reduktion der Lastannahme in Querrichtung höchstens 30% (im Staudruck) betragen könnte, in Anbetracht der statistischen Unsicherheit der 50-Jahres-Böen von etwa +3 m/s eher noch weniger. Die tatsächliche Festlegung dieser Werte könnte aber erst nach einer erheblich umfangreicheren Untersuchung erfolgen.

## 2. Abstract

In this pilot study the angular distribution of extreme gusts is investigated up to mean return periods of 50 years. Behind this lies the question, whether in the Federal Republic of Germany it might be considerable to reduce the wind loading assumptions for building design on an axis perpendicular to a general main gust direction. The concept now is a direction independent wind load.

The hourly maximum gusts of 11 years (1972-1982) from 10 wind measuring sites were summed up to annual frequencies of exceedance for 36 overlapping directional sectors. Each of them has a width of 30 degrees and consists of 1 m/s classes in speed. Weibull distributions were approximated in all cases, and extrapolated down to a frequency of exceedance of "once in 50 years" (a mean return period of 50 years). As the gust direction is not available, the assumption had to be made, that it does not deviate more than 15 degrees from the hourly mean direction. This can be shown to be generally correct for stormy situations.

Four sites show a distinct ducting of lower winds by hills and valleys perpendicular to the main wind direction. As expected, ducting is largely reduced in extreme gusts. Highest values are always combined with westerly directions. Nevertheless considerable differences over Germany are given. The direction of the maximal 50 years' gusts varies among the 10 sites between 220 and 290 degrees, the mean value is 260 degrees.

The 50 years' gusts do not fall off rapidly on both sides of the maximum. The angular section containing 50 years' gusts with more than 84% of the maximum gust speed is often broader than 90 degrees. (84% in gust speed corresponds to 70% in velocity pressure). This angular section varies considerably. In Nürnberg it extends from 192 to 293, in Bremerhaven far more to the north-west from 220 to 9 degrees. The extreme left and right borders of the sections are thus nearly 180 degrees apart, and the above mentioned mean direction of the maximum 50 years' gusts (260 degrees) is almost centered in between.

Thus, when the main gust direction would be prescribed to be 260 degrees, the reduction in wind load (velocity pressure) on the perpendicular axis could not be more than 30%. Considering the statistical insecurity of the extrapolated 50 years' gusts ( $\pm 3$  m/s) it certainly must be even less. A more extended investigation is needed before any decision.

### 3. Einleitung

Im Rahmen der Mitarbeit des Deutschen Wetterdienstes an den Vorbereitungen zur Neufassung der DIN 1055, Teil 4 (NABau Arbeitsausschuß "Lastannahmen für Bauten; Verkehrslasten, Windlasten"; Unterausschuß "Meteorologie") wurde die Frage aufgeworfen, ob es eine eindeutige Richtungsabhängigkeit der Extremböen gebe. Dahinter steht die Frage, ob es zu verantworten sei, für gewisse Arten von Bauwerken eine Lockerung der bisher in der Bundesrepublik üblichen Praxis zuzulassen, nach der diese bei Anströmung aus jeder Richtung der Belastung durch "die" 50-Jahres-Bö standzuhalten haben. In einigen internationalen Konzepten über die Standsicherheit von Bauwerken im Wind wird die Anströmrichtung in die Bemessung mit einbezogen.

Bei statistisch eindeutig nachgewiesenen erheblichen Unterschieden in der Richtungsverteilung der Extremböen, die natürlich für größere Teile oder besser die gesamte Bundesrepublik einheitlich sein müßten, könnte eine gezielte Dimensionierung gewisser Bauwerke nach unterschiedlichen Richtungssektoren theoretisch zu einer Materialeinsparung und einer Verminderung der Baukosten führen. Über die Ausnutzung einer derartigen Möglichkeit im Rahmen der modernen Sicherheitstheorie wäre aufgrund bautechnischer Zweckmäßigkeits-erwägungen auch unter Berücksichtigung der Sturmschadenstatistik zu entscheiden. Mit diesem Aspekt befaßt sich die Studie aber nicht.

Das Forschungsvorhaben, über das hier berichtet wird, ist als Pilotstudie zu dem genannten Thema zu verstehen. Im Gegensatz zu den vorangegangenen Arbeiten /1/, /2/ und /3/, die sich mit einer flächendeckenden Darstellung der richtungsunabhängigen Extremböen befaßten, wurde hier nur stichprobenartig die grundsätzliche Durchführbarkeit und die Erfolgsaussichten für eine eventuelle breit angelegte Untersuchung ermittelt. Das Forschungsvorhaben wurde aus verschiedenen Gründen vom Seewetteramt in Hamburg durchgeführt, obwohl die dienstliche Zuständigkeit für den größten Teil des untersuchten Gebietes bei der Abteilung Klimatologie des Zentralamtes des Deutschen Wetterdienstes in Offenbach am Main liegt. Vor allem die Aufbereitung und Prüfung von etwa einer Million Daten war sehr mühevoll und arbeitsaufwendig, daher hat auch die Durchführung des Projektes gut zwei Jahre in Anspruch genommen.

Wir danken Herrn Dipl.-Ing. Lorenzen, der durch unablässige Bemühungen erreichen konnte, daß sich die nord- und westdeutschen öffentlich-rechtlichen Versicherungsanstalten neben dem Institut für Bautechnik, Berlin, an der Finanzierung dieser Pilotstudie beteiligt haben. Damit wurde die Durchführung dieser Arbeit überhaupt erst ermöglicht.



#### 4. Stationen und Daten

Die Auswahl der zehn Stationen für diese Untersuchung erfolgte im Sinne einer möglichst vollständigen Stichprobe. Da mit den vorhandenen Mitteln eine flächendeckende Untersuchung für das Gesamtgebiet der Bundesrepublik Deutschland nicht durchzuführen war, wurde versucht, einerseits einige ungestörte, für weite Gebiete repräsentative Stationen auszuwählen, andererseits orographisch stark beeinflusste Situationen einzubeziehen. Letztere dienen der Untersuchung der Frage, ob die Führung des Windes durch Berge und Täler sich auch bei sehr hohen Windgeschwindigkeiten noch ausprägt, oder ob die starke Durchmischung der unteren Atmosphäre eine Abschwächung oder gar Aufhebung des Führungseinflusses hervorruft.

Als Datenbasis standen die sogenannten "Stundenwindauswertungen" des Deutschen Wetterdienstes zur Verfügung. Diese bestehen aus stündlichen Mittelwerten der Windgeschwindigkeit und der Windrichtung. Die Böen sind nur durch die tägliche Spitzenwindgeschwindigkeit vertreten, was bei einer Aufspaltung des Kollektivs nach Windrichtungen zu allzu geringen Anzahlen geführt hätte. Daher galt es, aus den für diese Untersuchung zur Verfügung gestellten Mitteln vor allem die stündlichen Spitzenwinde aus den vorhandenen Registrierungen nachzuerfassen. Für einige der Stationen standen auch diese schon für einige Jahre aus vorangegangenen, z.T. durch das Institut für Bautechnik geförderten Projekten zur Verfügung.

Abweichend von der Leistungsbeschreibung des Projektvertrages wurde die Station Jagel (bei Schleswig) durch die Station Hamburg-Fuhlsbüttel (Flughafen) ersetzt, da hier eine umfangreichere Datenbasis zur Verfügung stand. Dafür konnten aber statt der vorgesehenen zwei nunmehr alle vier Mittelgebirgsstationen Bonn, Kassel, Bamberg und Nürnberg einbezogen werden.

So sind letztlich für dieses Projekt die stündlichen Werte des mittleren Windes mit Richtung und die Spitzenböen verfügbar, und zwar für neun Stationen je elf Jahre, für die Station Bonn-Friesdorf nur fünf Jahre. Diese elf Jahre reichen von Jan. 1972 bis Dez. 1982.

Die Methode der Datenerfassung wurde schon in den Berichten zu vorangegangenen Projekten erläutert (/1/, /2/, zusammengefaßt veröffentlicht in /8/). Sie sei hier nochmals kurz dargestellt:

Erfahrene Werkvertragsnehmer werten nach einem vorgegebenen Schema die Originalregistrierungen der Stationen aus und prüfen dabei die Registrierungen auf mögliche Störungen und Verschiebungen. Die für verwertungswürdig befundenen Daten werden in Markierungsformulare eingetragen (gekennzeichnet), die anschließend 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 Markierungsfehler (sogenannte "Fünfer-" und "Zehnerfehler" sowie "Zahlendreher") weitgehend erkennt sowie Sprungstellen und "Ausreißer" feststellt. Außerdem wurden für diese spezielle Anwendung alle Windwerte von mehr als 30 m/s (25 m/s im Mittelgebirge) von einer zweiten Person überprüft. Die ermittelten Fehler wurden berichtet, die Serienabschnitte zeitlich sortiert und eventuelle Lücken durch Fehlkennungen geschlossen.

Die Lage der Stationen in ihrer weiteren Umgebung kann den Kartenausschnitten (Maßstab 1:1 Mio) der Abbildungen 1.1 und 1.2 entnommen werden. Die Ausschnitte sind etwa entsprechend ihrer Lage in der Bundesrepublik angeordnet. Hier folgt eine Beschreibung der Situation der Windmessung an den einzelnen Stationen:

#### List/Sylt

Südwestlich der Ortschaft List am Nordende der Insel Sylt nahe der Kuppe einer etwa 30 m hohen Düne. Wellige Dünen mit Strandhafer- und Heidebewuchs. Größte Erhebung (36 m NN) 120 m entfernt im NE, zum SW steil abfallend zu einem breiten Dünental (4 m NN). Geringste Entfernung zum Wattenmeer im SE 500 m, zur freien Nordsee im W-NW 2.5 km. Messung 12 m über der Düne mit Fuess 90 Z. Kaum Führung, aber erhöhte Windwerte (10% im Mittel, 5% in Böen) durch Geländeform.

#### Westermarkelsdorf/Fehmarn

Ungestört am Deich an der Nordwestecke von Fehmarn, Meßhöhe 17m über Grund, Fuess 90 Z an einem Mast auf dem Dach eines niedrigen Gebäudes. Ringsum fast baumloses, flaches Grasland und Äcker (1 m NN); unter dem Windmesser das Haus und einige niedere Bäume.

#### Bremerhaven

Westlich der Stadt auf einer Deichkrone von 7 m Höhe. In unmittelbarer Umgebung liegt im N der Geeste-Nothafen, im E der Binnendeich vor dem Handelshafen, im S das Marschengelände der Luneplate mit dem Fischereihafen und im W, in etwa 50 m Abstand, der Seedeich am Ostufer der Weser. Die Trichteröffnung der Weser erreicht im W der Station bereits 1.5 km, in 5 km Entfernung schon 5 km Breite. Sie bewirkt eine gewisse Düsenwirkung in NW-SE-Richtung und erhöhte NW-Winde. Im NE Bremsung des Windes durch die Stadt. Messung 10 m über Deichkrone mit Fuess 90 Z auf der Südmole der Geeste-Einfahrt.

#### Hamburg-Fuhlsbüttel

Der Flughafen befindet sich im locker bebauten Norden der Stadt Hamburg, etwa 10 km nördlich der Elbe in der flachen Niederung der Tarpenbek (14 m NN). Windmessung nahe der Kreuzung der Landbahnen 23 und 16, in 10 m über Grund mit Fuess 90 Z. Leichte Abschattung durch Hangars, etwa 500 m im S.

#### Hannover-Langenhagen

Die Station befindet sich auf dem Flughafen im locker besiedelten

Nordgebiet der Stadt. Windmessung sehr frei gelegen 374 m von der Mitte der Nordlandebahn (56 m NN) entfernt in 10 m über Grund mit Fuess 90 Z. Leichte großräumige E-W-Führung des Windes durch die 20-30 km südlich gelegenen Höhen des Deisters, des Süntels (bis 440 m NN) und des Wesergebirges.

#### Düsseldorf

Die Station liegt auf dem Flughafen, etwa 7 km nördlich vom Stadtgebiet in locker bebauter Umgebung. Zum rechten Rheinufer sind es ca. 4 km. Die Ausläufer der Rheinischen Mittelgebirge und des Bergischen Landes liegen zwischen SE und NE in etwa 5 km, das Ruhrgebiet im N-NE in etwa 20 km Entfernung. Im S Flugzeughalle in 150-250 m, übriges Gelände (45 m NN) eben und hindernisfrei, nach W-NW 3 km, nach N-E bis 1.5 km. Windmessung 10 m über Grund, frei gelegen, mit Fuess 90 Z. Außergewöhnliche Häufigkeit von SSE-Wind durch Leitwirkung des Rheintals. Bei NE Düsenwirkung an der Mittelgebirgsschwelle.

#### Bonn-Friesdorf

Die Station liegt im südlichen Teil der Kölner Bucht, unweit ihres Übergangs in das Mittelrheintal, linksrheinisch, 12 m über Normalwasserstand, bei Flußkilometer 650, etwa 1 km querab vom Strom (62 m NN). Das Tal ist hier 4 km breit, im W Kottenforst (Rücken bis 175 m NN), im E Dollendorfer Haardt (Ausläufer des Siebengebirges bis 140 m NN). Lokal wenig gestörte Windmessung 10 m über Grund mit Thies, sehr starke Führung durch das Tal NW-SE.

#### Kassel

Die Station wurde im o.a. Zeitraum von der Innenstadt auf den Hang am südwestlichen Stadtrand (231 m NN) verlegt, dadurch aber dennoch wenig Einfluß auf die hier verfolgten Ziele (obgleich im Detail deutlich erkennbar). Das umgebende Gelände steigt zwischen SW und NW zum Habichtswald in 2.5 km (bis über 500 m NN) an und fällt von N über E nach SW zum Kasseler Becken ab. Die Sektoren von SE-NW sind un bebaut, von NW-N Westfriedhof und Parkplatz, N-E dichtere und E-SE lockere Bebauung. Windmessung 10 m über Grund freistehend mit Fuess 90 Z. Starke Führung des Windes N-S.

#### Bamberg

Die Station liegt nahe dem südöstlichen Stadtrand (239 m NN) in ebenem Gartenbaugbiet des von S nach N verlaufenden Regnitztales. Das Gelände steigt nach E (etwa 4-5 km) terrassenartig und (ab etwa 10 km) steil zu den Höhenzügen des Jura (340-580 m NN) an. Jenseits der Regnitz beginnen ab etwa 1 km im W die Ostausläufer des Steigerwaldes, die hier mit 380 m NN die Stadt um mehr als 100 m überragen. Im Bereich der Station hat die Niederung der aus SE kommenden Regnitz etwa 5 km Breite; bis zur im NW der Stadt gelegenen Mündung in den Main weitet sie sich auf fast 10 km. Messung 10 m über Grund freistehend mit Fuess 90 Z. Ausgeprägte N-S-Führung des Windes.

Nürnberg

Die Station liegt 5 km nördlich der Stadtmitte von Nürnberg am Südrand des Flughafengeländes (319 m NN). Der Flughafen liegt in einem nahezu ebenen Teil des Mittelfränkischen Beckens. Das frei gelegene Flughafengebäude erstreckt sich W-E. Der Flugplatz wird im N von einem Föhrenwald, im E-SE von lockeren Waldparzellen, im S-W von Wiesen und Feldern umschlossen. Höhere Erhebungen um 400 m NN beginnen etwa 2.5 km im NE. Messung in 10 m über Grund freistehend mit Fuess 90 Z etwa 250 m südlich der Landebahn, praktisch frei von Führungseinflüssen.

## 5. Auswertemethodik

### 5.1 Probleme der Klasseneinteilung

Die Daten jeder Station bestehen aus skalarem Mittelwind, mittlerer Richtung und Spitzenbö jeder Stunde, das sind bei elf Jahren gut 95000 Datentripel. Die Windrichtung ist entsprechend den Vorschriften des DWD nur auf 10 Grad gerundet angegeben, was in Anbetracht der Variabilität der Richtungsanzeige der verwendeten Standardmeßgeräte auch nicht weiter zu verfeinern wäre. Damit ergeben sich natürlicherweise 36 Klassen für die Richtung. Die Windgeschwindigkeit (im Mittel oder in Böen) wird zweckmäßig in 1 m/s-Klassen geteilt und zwar von Null beginnend bis etwa 40 m/s (80 Knoten = 41.2 m/s ist die obere Meßgrenze der Böen, 60 Knoten die des Mittelwindes). Damit ergeben sich  $36 \cdot 40 = 1440$  Klassen. (Die obersten Klassen waren außer in List und Bremerhaven nie belegt, im Binnenland erreichten die Böen nur etwas mehr als 30 m/s in den vorliegenden 11 Jahren).

Die Belegung der 36 Richtungssektoren mit Daten ist sehr unterschiedlich. Sie ist maximal in den westlichen Sektoren und im allgemeinen minimal in den nördlichen Sektoren. Um einer Unterbelegung der Sektoren zu begegnen, wurden grundsätzlich übergreifende 30 Grad-Sektoren gebildet, indem jedem 10 Grad-Sektor die Daten der beiden benachbarten Sektoren hinzugerechnet wurden.

Die Bildung von 30 Grad-Sektoren wurde auch noch aus anderen Gründen erforderlich. Da mit den herkömmlichen Windmeßgeräten (der verbreitetste ist noch der Fuess 90Z) eine Registrierung auf Papier bei relativ geringem Vorschub vorgenommen wird und zusätzlich die Richtungsgeber auf Grund ihrer Konstruktion in der Strömung pendeln und zu einer gewisse Übertreibung der Windrichtungsfluktuationen führen, ist eine Zuordnung der momentanen Richtung zur Spitzenbö der Stunde nicht möglich.

Wir müssen daher die Annahme treffen, daß die Richtung der Spitzenbö gleich der Richtung des Mittelwindes ist. Wegen der natürlichen Richtungsschwankungen innerhalb einer Stunde ist diese Annahme im Mittel nur gerechtfertigt, wenn Abweichungen bis zu + 15 Grad zugelassen werden. Die Abweichungen können im Einzelfall durchaus noch größer sein, insbesondere bei schwachem Wind, der hier aber nicht von Interesse ist, sowie bei Gewitterböen. Diese können sogar sehr starke Abweichungen vom Stundenmittel der Windrichtung aufweisen, bis hin zum Extremum von 180 Grad. Andererseits sind die Gewitterböen nur ein sehr geringer Teil des Gesamtkollektivs und nach unserem bisherigen Wissen in der ganzen Bundesrepublik immer kleiner als die extremen Böen "normaler" Stürme. Dies wurde auch von Schroers bei seinen Messungen in Garching (bei München) festgestellt.

In Stürmen ist aber die Variabilität der Windrichtung innerhalb einer Stunde recht gering. Aus Sondermessungen des Deutschen Wetterdienstes in List/Sylt, bei denen Windrichtung und -geschwindigkeit mit speziellen modernen Sensoren im Sekundentakt in mehreren Höhen während Stürmen gemessen wurden, konnten für diesen Zweck insgesamt fast 400 Stunden ausgewertet werden. Es ergab sich, daß die Sekundenwerte der Richtung mit einer Standardabweichung von 7.1 Grad um das Stundenmittel der Richtung streuen, die Extreme der Richtungsabweichung liegen bei  $\pm 25$  Grad. Das gleiche Bild ergab sich bei der Analyse der Abweichungen der momentanen Richtung der Spitzenböen von der mittleren Richtung der Stunde. Die Standardabweichung betrug hier 7.6 Grad. 95% der momentanen Richtungen der Spitzenböen liegen also in der von uns gewählten Sektorbreite von  $\pm 15$  Grad, da diese gerade gleich dem zweifachen der Standardabweichung ist. Die Richtung der Spitzenböen weicht selten um mehr als 20 Grad vom Stundenmittel der Richtung ab, wie die Abb. 2 zeigt.

Größere Abweichungen sind meist mit schnellen, generellen Richtungsänderungen ("Frontdurchgängen") verbunden, bei denen die Angabe eines Stundenmittels der Richtung ohnehin keine besonders brauchbare Information liefert. Zudem sind die Abweichungen vollkommen unsystematisch. (Die Korrelation zwischen den gleichzeitigen sekundlichen Abweichungen der Richtung und der Geschwindigkeit vom jeweiligen Stundenmittel ist im Mittel Null!). Wir sehen durch diese Ergebnisse die Wahl der Sektorbreiten von 30 Grad als gerechtfertigt an.

(Es erschien zumindest aus physikalischen Erwägungen möglich, daß die Böen aufgrund ihrer Herkunft aus größeren Höhen auch von dort mit dem Impuls noch eine systematisch andere Windrichtung mitbringen. Dieser Prozeß scheint aber anders zu verlaufen, mehr im Sinne einer Rotation als Zusatz-Komponente zum mittleren Wind, die so verläuft, daß die Minima und Maxima der Geschwindigkeit einen zeitlichen Versatz gegenüber den extremen Richtungsabweichungen aufweisen. Die Analyse dieser Prozesse kann aber nicht Gegenstand dieser Untersuchung sein).

So wird also angenommen, daß die möglicherweise fehlerhafte Zuordnung der Gewitterböen keinen systematischen Einfluß hat und daß die Zusammenfassung der Daten in 30 Grad-Sektoren ausreicht, um die unsystematischen Schwankungen der Richtung der Sturmböen gegen die mittlere Richtung der Stunde hinreichend aufzufangen. Die Bildung von breiteren Sektoren "zur Sicherheit" hätte den Nachteil einer weitergehenden Verschmierung der richtungsspezifischen Informationen.

Für diese Untersuchung wurden nur die Daten der vier "Winter"monate November bis Februar verwendet. (Der November gehört zwar weder kalendarisch noch klimatologisch zum "Winter", wir werden diese Bezeichnung aber der Einfachheit halber hier durchgehend verwenden). Die Einschränkung erwies sich als zweckmäßig. Die Voruntersuchung der Extrapolationsmethodik, die weiter unten erläutert wird, ergab, daß die Ergebnisse der Extrapolation um so stabiler sind, je homogener die zugrundeliegenden Daten sind. Der Wind und mit ihm auch die stündlichen Maximalböen weisen einen ausgeprägten Jahresgang mit maximalen Werten im Winter und minimalen im Sommer

auf. Die Variation ist weitgehend sinusförmig. Faßt man daher die Daten in der Nähe des Maximums (die o.a. 4 Wintermonate) zusammen, erhält man ein ziemlich homogenes Kollektiv. Nimmt man nun die Sommerdaten hinzu, so ergibt sich keine neue oder vermehrte Information zu den extremen Ereignissen, sondern nur eine Vermehrung der Masse schwächerer Windwerte. Sicherlich hätten wir auch noch die Monate März und Oktober mit den "Äquinoktial"-Stürmen einbeziehen können, doch erreichen deren Spitzenböen nur selten die Winterwerte und es wären sehr viele Schwachwinde hinzugekommen. Wegen des Jahresganges verweisen wir auf andere Stellen, u.a. /2/ und /7/.

Für jeden Richtungssektor getrennt wurden dann die Überschreitungshäufigkeiten gebildet. Sie entstehen, indem man die Häufigkeiten, beginnend bei der höchsten Windgeschwindigkeit, aufsummiert. Die Überschreitungshäufigkeit sagt aus, wieviele Fälle es gibt, die eine höhere Windgeschwindigkeit aufweisen als die Untergrenze der gerade betrachteten Windgeschwindigkeits-Klasse. Die Überschreitungshäufigkeiten wurden anschließend mit der Gesamtzahl der in den vier Wintermonaten (für beliebige Richtungen) im Mittel auftretenden Stunden normiert, das sind  $(30+31+28.25+31)$  Tage mal 24 = 2886 Stunden. Die Überschreitungshäufigkeit gibt damit die im Mittel über einen längeren Zeitraum auftretende jährliche Anzahl der Ereignisse oberhalb gewisser Windgeschwindigkeits-Schwellen wieder.

Trägt man die Überschreitungshäufigkeit logarithmisch (Ordinate) gegen die Windgeschwindigkeit (Abszisse) auf, wie z.B. in den Abbildungen 3.1 bis 3.4, so ergibt sich eine nach unten geöffnete Kurve in der Art einer halben Parabel. Die empirisch gewonnenen Verteilungen sind durch Symbole gekennzeichnet, sie enden unten im allgemeinen in der Nähe von 0,1. Dieses bedeutet: "Im Mittel 0,1 mal pro Jahr", was gleichbedeutend ist mit "einmal pro 10 Jahren". Es ist das höchste Böenergebnis, das in diesem Zeitraum (wir haben ja 11 Jahre an Daten) aufgetreten ist.

## 5.2 Anpassung der Weibull-Verteilung

Um überhaupt einen Schluß auf noch seltenere Ereignisse zu ermöglichen, treffen wir die statistische Grundannahme, daß es sich bei den Stunden-Böen um einen stationären homogenen stochastischen Prozeß handelt. Diese statistische Annahme bedeutet physikalisch, daß die Böen stets durch die gleichen atmosphärischen Mechanismen, insbesondere auch in Orkanen, hervorgerufen werden und sich nur in der Intensität unterscheiden. Der Mechanismus ist dabei so geartet, daß Böen um so seltener auftreten, je stärker sie sind.

Die Frage nach der Gültigkeit dieser Grundannahme ist bis heute offen, möglicherweise ist sie grundsätzlich nicht zu beantworten. Die praktische Anwendung durch viele Autoren zeigt aber bisher u.W. keine Gegenbeispiele. Sehr seltene Ereignisse, wie z.B. Großtromben (Tornados), die ihrer Physik nach gegen diese Annahme sprechen könnten, sind in diesen Kollektiven nicht enthalten. Ihre

Eintrittswahrscheinlichkeit wird aber für alle Bereiche der Bundesrepublik mit etwa "einmal pro 10000 Jahren" abgeschätzt, so daß sie bei dieser Untersuchung außer Betracht bleiben können.

Die hier vorausgesetzte "Stationarität" des stochastischen Prozesses bedeutet in diesem Zusammenhang die Annahme der Konstanz des Klimas, des Fehlens von langzeitigen Trends. Eine Prüfung ist in dem hier gegebenen Rahmen nicht möglich. Ohne diese Annahme aber darf eine Eintrittswahrscheinlichkeit von z.B. "0.02 mal pro Jahr" nicht als "einmal in 50 Jahren" umgedeutet werden.

Unter den genannten Voraussetzungen kann die empirische Verteilung durch eine funktionale Beziehung approximiert werden. Diese wiederum kann dann auf geringere Eintrittswahrscheinlichkeiten extrapoliert werden um so einen Schluß auf die wahrscheinliche Größe seltener Ereignisse zu ermöglichen.

Wir haben uns in dieser Studie entschlossen, den empirischen Verteilungen eine "Weibull"-Verteilung anzupassen. Diese Verteilung ist in der Literatur für diesen Zweck weit verbreitet. Die folgende integrale Form der Verteilungsfunktion gibt die jährliche Häufigkeit  $H(F)$  in Abhängigkeit von der Windgeschwindigkeit  $F$ :

$$H(F) = N * \exp( -(( F-d ) / s )^k ) \quad ( 1 )$$

Darin ist  $N$  die oben erwähnte Anzahl der möglichen Ereignisse (2886 Stunden),  $d$  eine Möglichkeit zum Verschieben der Verteilung auf der Geschwindigkeitsachse ("displacement"),  $s$  der Skalierungsparameter ("scale") und  $k$  schließlich der Formparameter ("shape"). Das  $d$  wird hier stets Null gesetzt, weil dies die natürliche untere Begrenzung des Windes darstellt, negativen Wind kann es nicht geben. Damit bleiben die beiden freien Parameter  $s$  und  $k$ . Diese werden durch iterative Anpassung von (1) an die jeweilige empirische Verteilung bestimmt. Durch Variation von  $F$  kann dann mit  $s$  und  $k$  aus (1) die angepaßte Weibull-Verteilung für jeden Sektor berechnet werden.

Diese sind als durchgezogene Kurven in den Abb. 3.1 bis 3.4 eingetragen. Sie wurden zur Vereinfachung des Zeichenprogramms bis über den "Jahrhundertwert" (0.01 pro Jahr) hinaus berechnet, dürfen aber höchstens bis dahin interpretiert werden.

Die Weibull-Verteilung ist, vom theoretischen Hintergrund aus gesehen, eigentlich nicht geeignet, die Verteilungen einzelner Sektoren zu approximieren, daß dies dennoch zu brauchbaren Ergebnissen führt, liegt daran, daß der Ansatz von einer zentrierten, kreissymmetrischen Verteilung ausgeht. Wenn man daher "so tut, als ob" die Verhältnisse des betrachteten Sektors auch in allen anderen Sektoren gegeben wäre, ist die Bedingung der Kreissymmetrie erfüllt und die Verteilung kann verwendet werden.

In früheren Untersuchungen wurde von uns für Norddeutschland eine andere, aus der "logistischen" abgeleitete Verteilung /6/ verwendet. Diese hat die Eigenschaft, nach einer kurzen Krümmung in eine exponentielle Gerade überzugehen. Im Gegensatz dazu behält die Weibull-Verteilung die Krümmungsrichtung bei, ähnlich wie eine



Parabel. Nachdem sich aber in einer Untersuchung für das Binnenland /3/ bereits herausstellte, daß dort die empirischen Verteilungen eine stetige Krümmung aufweisen, und sich hier ergab, daß die meisten Sektoren auch in Norddeutschland dieses Verhalten zeigen, wurde nicht die "logistische" Verteilung, sondern generell die Weibull-Verteilung verwendet.

Dennoch bleibt die Tatsache bestehen, daß in Norddeutschland einige Sektoren, und es sind vorwiegend West-Sektoren mit den höchsten Böengeschwindigkeiten, oberhalb etwa 10 m/s doch besser mittels einer exponentiellen Geraden zu approximieren wären. Dieser Effekt wird durch eine Häufung von sehr hohen Böen am Ende der Verteilung aus wenigen Stürmen hervorgerufen. Es ist bis heute nicht gelungen, nachzuweisen, ob es sich hier um eine persistente klimatologische Erscheinung oder um einen klimatologischen "Zufall" in dem betrachteten Zeitraum 1972-1982 handelt. Es ist auch fraglich, ob der Beweis überhaupt möglich ist.

Jedenfalls ist es nicht sinnvoll, in einer Untersuchung für verschiedene Sektoren und/oder Stationen grundsätzlich unterschiedliche Verteilungen zur Approximation zu verwenden. Wir betrachten daher die genannte Erscheinung als "Zufall", genauer gesagt, um eine Häufung sehr seltener Ereignisse ausgerechnet in dem betrachteten Zeitraum von 11 Jahren.

Das hier wie in den vorangegangenen Untersuchungen angewandte Extrapolationsverfahren basiert auf der Einbeziehung der Gesamtheit aller verfügbaren Windgeschwindigkeitsmessungen des Zeitraums (der "Grundgesamtheit"). Die insbesondere in der Bautechnik häufig verwendete Methode der Extrapolation der Verteilung der jährlichen Extrema mittels spezieller Funktionen (Gumbel, Fisher-Tippet u.a.) sollte prinzipiell gleiche Ergebnisse liefern, ihre Anwendung hat aber spezifische Nachteile.

Aus Gründen der statistischen Sicherheit sind dazu die jährlichen Extrema von wenigstens 20-30 Jahren erforderlich, wir haben hier nur 11 Jahre. Die Extrapolation der Grundgesamtheit liefert dagegen offenbar selbst bei kürzeren Kollektiven (z.T. nur 5 Jahre) bereits brauchbare Ergebnisse. Dies wurde von uns früher bereits festgestellt /1/, /2/, /3/. Sehr eindrucksvoll ist die mangelnde Stabilität der Extremwertextrapolation von Rijkooort /4/ und Schroers /5/ belegt worden.

Überdies überschreiten selbst die jährlichen Extrema der Böen an den Küsten- und einigen Bergstationen regelmäßig die Meßgrenzen der verwendeten Meßgeräte. Derartige Daten sind aber für die Extremwertstatik grundsätzlich unbrauchbar! Die Einpassung der Weibull-Verteilung in die Grundgesamtheit reagiert dagegen wenig sensibel auf eine Begrenzung der Verteilung auf z.B. 40 m/s, sofern die Daten mit höheren Werten in der obersten nach oben offenen Klasse enthalten sind. (Sie dürfen natürlich keinesfalls als "Fehler" eliminiert werden!).

Ein gesichertes Verfahren zur Abschätzung der statistischen Sicherheit der berechneten Extrapolationsergebnisse gibt es für die Weibull-Verteilung u.W. bisher nicht. Wir sind daher zu einer

subjektiven Schätzung gezwungen. Einen gewissen Anhalt gibt die Untersuchung von Schroers /5/, der zur Extrapolation die Gauss-Verteilung benutzte. Eine Übertragung auf die hiesigen Verhältnisse läßt vermuten, daß die statistische Sicherheit der Schwellenwerte der Stundenböen für die mittlere Wiederkehrperiode von 50 Jahren etwa  $\pm 3$  m/s beträgt. Da 11 Jahre an Daten vorliegen, sind die Werte für  $\overline{10}$ - bzw. 1-jährige Wiederkehr mit  $\pm 2$  bzw.  $\pm 1$  m/s entsprechend sicherer.

## 6. Ergebnisse

### 6.1 Vorbemerkung zur Darstellung des Windvektors

Der Vektor des Windes kann auf zwei gleichwertige Weisen dargestellt werden. Die bekanntere Art ist die Angabe der Richtung und der Geschwindigkeit. Dabei bezeichnet man in der Meteorologie als "Windrichtung" die Herkunftsrichtung des Windes (Nordwind kommt also aus Norden usw.). Sie wird entweder mit Buchstaben-Kürzeln bezeichnet (Nord=N, Ost=E, Süd=S, West=W und Zwischenwerte wie NE usw.) oder numerisch nach der 360-Grad-Rose angegeben (N=0, E=90, S=180, W=270 Grad), 67.5 Grad entspricht z.B. ENE (Ost-Nord-Ost). Windgeschwindigkeiten werden in Meter pro Sekunde (m/s) angegeben, üblich sind auch noch Knoten (=Seemeilen pro Stunde, Kts) dabei sind 2 Kts ungefähr gleich 1 m/s.

Die zweite Art ist die Darstellung des Windes durch zwei Wind-Komponenten in einem rechtwinkligen Koordinatensystem, dessen Achsen N-S und W-E ausgerichtet sind. Nach meteorologischer Definition wird eine westliche Komponente (Wind aus Westen!) positiv, eine östliche negativ gerechnet; ebenso bekommt Südwind ein positives, Nordwind ein negatives Vorzeichen. Die Aufspaltung des Windes in Komponenten führt in manchen Fällen zu einem klareren Bild, sie wird daher auch im folgenden Abschnitt verwendet.

### 6.2 Führungseffekte

In der beschriebenen Komponenten-Darstellung sind die Häufigkeitsverteilungen aller 10 Stationen als Abb. 4.1-4.10 ausgeführt. In diesen Abbildungen ist N (oder 0 Grad) oben, E (oder 90 Grad) rechts. Dargestellt ist die zweidimensionale Häufigkeitsverteilung beider Windkomponenten. Die Zahlenangaben an den Isolinien sind Tausendstel Prozent, sie gelten für die relative Häufigkeitsdichte in einem Quadrat von  $1 * 1$  entsprechend den dimensionslosen (normierten) Skalen links und unten. Die Häufigkeiten wurden mit einem numerischen Filter geglättet, um die grundlegenden Strukturen erkennbar zu machen, sie sind andernfalls praktisch nicht zu interpretieren.

Vor der Glättung wurden die Windkomponenten gemäß der weiter unten stehenden Tabelle normiert, damit alle Verteilungen etwa die gleiche Fläche im Bild einnehmen. Man könnte ihre Form und Struktur sonst nur schwer untereinander vergleichen. (Die Verteilung von List würde z.B. mehr als die dreifache Fläche der von Bamberg einnehmen). Die folgende Tabelle enthält die Faktoren, mit denen man die Skalen der Abbildungen multiplizieren muß, damit diese die physikalische Dimension "Meter/Sekunde" annehmen:

STATION	FAKTOR	ABBILDUNG
List/Sylt	1.705	4.1
Westerm./Fehmarn	1.39	4.2
Bremerhaven	1.34	4.3
Hamburg-Fu.	1.15	4.4
Hannover-La.	1.23	4.5
Düsseldorf	1.14	4.6
Kassel	1.035	4.7
Bonn-Friesdorf	0.965	4.8
Bamberg	0.91	4.9
Nürnberg	0.99	4.10

Tabelle 1: Faktoren zur Umrechnung der Skalenwerte  
der Abb. 4.1-4.10 in Meter/Sekunde

Die Faktoren der Tabelle geben gleichzeitig einen Eindruck von den regionalen Unterschieden und machen den aus früheren Untersuchungen bekannten Abfall der Windgeschwindigkeit von der Küste zum Binnenland deutlich, wie es in /1/ u.a. beschrieben ist.

Führungseffekte machen sich am deutlichsten bei den häufigen schwächeren Windgeschwindigkeiten bemerkbar. Angetrieben von Luftdruckunterschieden versucht die Luft diesen zu folgen und bewegt sich dabei auf einem Wege, der mit der geringstmöglichen Arbeit verbunden ist. Arbeit ist einerseits gegen die Bodenrauigkeit zu leisten andererseits gegen die Schwerkraft, da nämlich die Atmosphäre im allgemeinen "stabil" geschichtet ist (die relativ kühlere und damit schwerere Luft liegt unten). Die Luft versucht in erster Näherung also rauhere Gebiete und Erhebungen zu umgehen.

Nahe dem Zentrum der Verteilungen (am eingezeichneten Kreuzungspunkt der Koordinaten) lassen sich aus der Form der Isolinien mit den Bezeichnungen "100.0" und mehr bei den Stationen Düsseldorf, Bonn, Kassel und Bamberg sehr deutliche Führungseinflüsse erkennen.

In Düsseldorf (Abb. 4.6) liegt das Maximum der Häufigkeitsdichte südsüdöstlich des Koordinatenursprungs, d.h. schwacher Wind (und damit auch die hier betrachteten stündlichen Maximalböen) nimmt seinen Weg entlang dem Rheintal am Rande der Mittelgebirge (Siehe dazu auch Abb. 1.2 links oben). Diese Führung durch den Rhein ist auch sehr deutlich an der Station Bonn-Friesdorf (Abb. 4.8) zu erkennen. Entsprechend seiner orographischen Situation weist Düsseldorf (Abb. 4.6) noch eine zweite Führung des Windes durch den Nordrand des Berglandes auf, erkennbar an der Ausbuchtung der inneren Isolinien nach NE.

In Kassel (Abb. 4.7) haben dagegen die inneren Linien die Form einer langgestreckten Niere mit den Vorzugsrichtungen SSW und N. Hier wird die Führung durch den Habichtswald im Westen und den N-S-Verlauf des Fuldatales erzwungen (s. auch Abb. 1.2 oben rechts). Deutlich, wenn auch weniger extrem, ist in Bamberg (Abb. 4.9) die Bevorzugung der N-S-Richtung durch schwächeren Wind im Verlauf des Regnitztales (Abb. 1.2 unten) erkennbar.

An den anderen sechs Stationen ist ein deutlicher Führungseinfluß nicht erkennbar. Es ist aber bemerkenswert, daß das Gebiet mit der größten Häufigkeitsdichte durchweg südöstlich oder südlich des Koordinatenkreuzes liegt, auch im norddeutschen Flachland.

Ganz anders sind die Verhältnisse bei den seltenen hohen Stundenböen am äußeren Rande der Verteilungen. (Die Isolinie der Häufigkeitsdichte "0.5000" z.B. entspricht etwa der Eintrittswahrscheinlichkeit von "einmal pro Jahr"). Die Isolinien 0.5000 und 1.000 zeigen an allen Stationen eine verhältnismäßig einheitliche Struktur. Von Undulationen abgesehen ist ihre Form weitgehend elliptisch, die lange Achse liegt meist in W-E-Richtung. Die Ellipsen liegen dabei nicht symmetrisch zum Koordinatenkreuz, sondern nach Westen verschoben. Dies bedeutet, daß bei gleichen Eintrittswahrscheinlichkeiten die Böen aus westlichen Richtungen in ganz Deutschland stets die höchsten Geschwindigkeiten aufweisen. Die oben erläuterten Führungseinflüsse schwächen sich also um so mehr ab, je stärker der Wind ist. Besonders deutlich wird dies an den Stationen Kassel und Bamberg (Abb. 4.7 und 4.9), bei denen die N-S-Orientierung der Ellipsen der Isolinien im Zentrum allmählich in eine W-E-Orientierung am Rande übergeht. Man kann davon ausgehen, daß sich dieser Prozeß der Vereinheitlichung der Verteilung extremer Böen (innerhalb der Bundesrepublik) außerhalb der hier gezeigten Isolinien, d.h. bei noch selteneren Böen mit Wiederkehrperioden bis zu 100 Jahren, noch fortsetzt.

Die Ursache für die Abschwächung der Führung bei hohen Windgeschwindigkeiten liegt in einer Änderung der thermischen Struktur der Atmosphäre. Einerseits werden die unteren Luftschichten bei stärkerem Wind mechanisch besser durchmischt, andererseits wird bei diesen Verhältnissen vermehrt Kaltluft in höhere Atmosphärenschichten geführt. Insgesamt ergibt sich so eine Verminderung der Stabilität der Schichtung. Damit wird aber bei Vertikalbewegungen der Luft die Arbeit gegen die Schwerkraft vermindert oder aufgehoben, so daß Hindernisse mäßiger Steilheit (Mittelgebirge) einfach geradeaus überströmt statt umströmt werden.

Die starken Undulationen der äußeren Isolinie "0.2000" sind nicht bedeutsam. Sie beruhen darauf, daß in diesem Bereich nur noch selten überhaupt Werte auftauchen (mit Nullen dazwischen) und der oben erwähnte Glättungsoperator diese Schwankungen nicht mehr vollkommen auszugleichen imstande ist. Dies ist ein weiterer Grund für die Normierung der Abb. 4.1 bis 4.10. Sonst hätte etwa für die weit ausfächernde Verteilung von List ein anderes Filter als für die relativ enge Verteilung von Bamberg verwendet werden müssen.

Auffällig dagegen und sehr störend, wie weiter unten ausgeführt wird, sind die Beulen der äußeren Isolinien in Richtung 70 Grad an den vier norddeutschen Stationen List, Westermarkelsdorf, Hamburg und Bremerhaven (Abb. 4.1 bis 4.4). Hier konzentrieren sich die extremen ENE-Böen, die im Winter 1978/79 während der sogenannten "Schneekatastrophe" bei beachtlichen Schneefällen für hohe Verwehungen sorgten. Diese "Beule" ist offenbar tatsächlich ein "Jahrhundertereignis" innerhalb des hier analysierten 11-Jahreszeitraums.

### 6.3 Die Richtungsverteilung extremer Böen

Zur Analyse der Richtungsabhängigkeit der extremen Böen für unterschiedliche Niveaus der Eintrittswahrscheinlichkeit (d.h. für verschiedene Fraktile der Verteilung) verwenden wir wieder die üblichere Darstellung des Windvektors nach Richtung und Geschwindigkeit. Wie im Abschnitt 5 erläutert, wurden die Häufigkeiten für jede Station in 36 Richtungssektoren übergreifend eingeteilt. Jeder Sektor hat eine Breite von 30 Grad. Die Überschreitungshäufigkeiten der stündlichen Maximalböen jedes Sektors wurden durch eine Weibull-Verteilung approximiert.

Als Beispiele sind in den Abb. 3.1 bis 3.4 die empirischen (Symbole) und angepaßten Verteilungen (ausgezogene Kurven) von je acht Richtungssektoren für die beiden am weitesten auseinander liegenden Stationen List und Nürnberg dargestellt. Datenpunkte mit Ordinatenwerten von weniger als 0.5 wurden bei der Approximation ausgeschlossen, da diese seltensten Ereignisse starken Zufälligkeiten unterliegen. Die Approximation ist in fast allen Fällen als gut zu bezeichnen. Die Darstellung aller Sektoren für alle Stationen in dieser Weise wurde in der Untersuchung zwar vorgenommen, ihre Wiedergabe in diesem Bericht ist aber wegen des Umfangs nicht möglich.

Eine Ausnahme in der Güte der Anpassung bildet der Sektor "70 Grad" (grüne Kreuze) an der Station List (Abb. 3.1). Die starke Ausbuchtung der empirischen Verteilung im unteren Bereich ist der Ausdruck der oben erwähnten "Schneekatastrophe". Im Vergleich mit den umliegenden Sektoren sowie anderen Stationen zeigt sich, daß diese außergewöhnliche Häufung von extremen ENE-Sturmböen nicht Teil des Windklimas in dem betrachteten Zeitraum sein kann. Daher wurde für die am meisten betroffenen Stationen List und Westermarkelsdorf in den Sektoren 50-80 Grad die Approximation nur mit den Klassen mit einer jährlichen Häufigkeit von mehr als 20 vorgenommen. Diese Manipulation war erforderlich, da die Extrapolation andernfalls unrealistische 50-Jahresböen von etwa 50 m/s wie in den West-Sektoren ergibt.

Am dargestellten Beispiel von List zeigt sich, daß die Kurve der Weibull-Verteilung für den Sektor 70 Grad viel steiler verläuft als die empirische Verteilung und gut mit den Approximationen der Nachbarsektoren übereinstimmt. Die statistische Sicherheit der Extrapolation nimmt dabei aber drastisch ab, sie wird für die 50-Jahresböen nicht besser sein als +5 m/s.

Unterstellen wir nun die approximierete (grüne) Kurve als "klimatologisch richtig", kann daraus auf die Eintrittswahrscheinlichkeit der Böen der "Schneekatastrophe" geschlossen werden. Die grünen Kreuze der empirischen Verteilung liegen nämlich im Bereich zwischen etwa 24 und 31 m/s um den Faktor 8-10 in der Häufigkeit höher als die Kurve. Sie müßten "eigentlich" um diesen Faktor seltener sein. Da hier 11 Jahre zugrunde liegen, sollten solche Böen also nur alle 88 bis 110 Jahre eintreten. Die Häufung derart starker Böen kann also mit Recht als "Jahrhundertereignis" bezeichnet werden (das

trifft auf die gleichzeitig gefallenen Schneemengen wahrscheinlich ebenfalls zu).

Von dieser Ausnahme abgesehen verhielten sich die Approximationen aller Sektoren aller Stationen weitgehend "normal". Aus den angepaßten Kurven wurden die Schnittpunkte mit den horizontalen Ordinatenstufen (mittlere jährliche Häufigkeit) 10, 1, 0.1 und 0.02 berechnet. Die Häufigkeiten 0.1 und 0.02 pro Jahr können, wie oben ausgeführt, als "einmal pro 10" bzw. "einmal pro 50 Jahre" interpretiert werden. Die Schwellenwerte der Extremböen für diese vier Fraktile der Verteilung sind in Abhängigkeit von der Windrichtung in den Abb. 5.1 bis 5.10 für alle Stationen dargestellt.

Die oben erläuterte verminderte statistische Sicherheit im Winkelbereich 50-80 Grad ist in den Abb. 5.1 und 5.2 deutlich an den starken Schwankungen von Sektor zu Sektor zu erkennen. (Für Hamburg und Bremerhaven wurde keine Reduktion vorgenommen, die "Schneekatastrophe" zeichnet sich in den Abb. 5.3, 5.4 noch als sekundäres Maximum ab). An den anderen Stationen sind Irregularitäten dieser Art nicht zu erkennen, die Schwankungen von Sektor zu Sektor sind relativ gering. Die Annahme einer statistischen Unsicherheit von  $\pm 3$  m/s in den 50-Jahresböen erscheint auch aus dieser Sicht als gerechtfertigt.

Die Maxima der vier Kurven liegen für alle Stationen immer im westlichen Halbraum (zwischen 180 und 360 Grad). Die Lage des absoluten Maximums der 50-Jahres-Böen (obere Kurve, Vierecke) schwankt zwischen 220 Grad in Nürnberg und 290 Grad in Bonn, im Mittel liegt es bei 260 Grad. Die Schwellenwerte der anderen Kurven für die häufigeren Ereignisse zeigen ein ähnliches Verhalten. Reste der oben erläuterten Führungseffekte sind auch in diesen Darstellungen der seltenen Ereignisse noch erkennbar, insbesondere in den jeweils unteren (schwarzen) Kurven für 10 Fälle pro Jahr. So liegt hier z.B. in Kassel das Maximum noch bei 210 Grad (SSW), bei den 50-Jahres-Böen aber bereits bei 250 Grad.

Während der Bereich maximaler Werte der 50-Jahres-Böen im allgemeinen rechts von 300-330 Grad endet, besteht er in Bremerhaven noch bis 360 Grad, der Gipfelbereich ist extrem breit. An der unteren Kurve "10/Jahr" ist dies noch nicht sichtbar. Diese Eigentümlichkeit ist nicht völlig geklärt, sie mag auf die großräumige Leitwirkung infolge der geringen Rauigkeit des sich nach NW-N öffnenden Mündungstrichters der Weser zurückzuführen sein.

Entscheidend für die Fragestellung der Bautechnik ist nicht allein die Vorzugsrichtung der Extremböen sondern auch die Breite und absolute Lage der Richtungszonen maximaler Windwerte. Um diese Angaben quantifizieren zu können, wurde nach eingehender Beratung mit den Betreuern des Projektes folgendes Verfahren angewandt: Ausgehend vom Maximalwert der 10- und 50-Jahres-Böen (Kurven "1/10 Jahre" und "1/50 Jahre") wurde für alle Stationen der Winkelbereich berechnet, in dem die Schwellenwerte mehr als 84% des jeweiligen Maximalwertes betragen. (Um dem Problem der statistischen Unsicherheit der Werte der Einzelsektoren die Spitze zu nehmen, wurde der Maximalwert  $M_n$  mit den Werten der Nachbar-sektoren  $M_{n-1}$  und  $M_{n+1}$  gemittelt: "Maximum" =  $(2 \cdot M_n + M_{n+1})$

+  $Mn-1)/4$  ). Da der Staudruck eine quadratische Funktion der Windgeschwindigkeit ist, bezeichnet dies den Winkelbereich, in dem der Staudruck wenigstens 70% des maximalen Staudrucks beträgt.

Die Ergebnisse sind in den Abb. 6.1 und 6.2 graphisch dargestellt. Der Winkelbereich wurde dabei entsprechend den Kurven der Abb. 5.1 bis 5.10 durch lineare Interpolation auf nominell 1 Grad genau ermittelt. Am Beispiel von List sei dies erläutert: Das Maximum der 50-Jahres-Böen beträgt 51.6 m/s (bei 280 Grad), wie oben gemittelt mit den Nachbarsektoren ist das "Maximum" 50.7 m/s, 84% davon sind 42.6 m/s. Alle 50-Jahres-Böen des Winkelbereiches zwischen 240 Grad und (interpoliert) 353 Grad sind höher als dieser Wert. Der Bereich ist als oberer Balken in der Abb. 6.2 eingetragen.

Die Abbildungen 6.1 und 6.2 für die 10- bzw. 50-Jahres-Böen unterscheiden sich nicht grundsätzlich, sondern nur in Details. Die Lage und Breite der Sektoren ist von Station zu Station recht unterschiedlich. Eine systematische Abhängigkeit von der geographischen Lage in der Bundesrepublik ist nicht zu erkennen. Alle Sektoren überschneiden sich zwar im Winkelbereich zwischen etwa 250 und 290 Grad, an den Rändern aber sind die Unterschiede sehr ausgeprägt.

Die Richtung der örtlichen Spitzenwerte der 10- bzw. 50-Jahres-Böen ist in den Abb. 6.1 und 6.2 als Dreieck eingetragen. Diese Richtung schwankt zwischen 220 und 290 Grad. Die äußeren Grenzen dieses Winkelbereiches sind als vertikale Linien gezeichnet. Falls also eine für die ganze Bundesrepublik einheitliche Richtungsabhängigkeit der Lastannahmen für gewisse Bauwerke definiert werden sollte, müßte dieser Winkelbereich von 70 Grad mit dem maximalen Staudruck  $Q_b, \max$  beaufschlagt werden.

Als weitere Vertikale sind die äußerste linke und rechte Begrenzung der Richtungssektoren aller Stationen eingetragen. Diese Vertikalen liegen bei den 10-Jahres-Böen bei 198 und 351 Grad, bei den 50-Jahres-Böen (Abb. 6.2) bei 196 und 9 Grad. Die Winkeldifferenz zwischen den Vertikalen beträgt 153 bzw. 173 Grad. Wegen der statistischen Unsicherheit der Extrapolationsergebnisse von  $+2$  m/s bei den 10-Jahres-Böen bzw.  $+3$  m/s bei den 50-Jahres-Böen kann die Winkeldifferenz ohne weiteres auch noch 20 Grad mehr betragen.

Es ist also festzustellen, daß es unter den untersuchten zehn Stationen je eine gibt, bei der Böen mit mindestens 70% des lokalen maximalen Staudrucks (bezüglich der mittleren Richtung des Maximums von 260 Grad) um fast 70 Grad nach links oder mehr als 90 Grad nach rechts abweichend vorkommen. Für die o.g. hypothetische bundeseinheitliche Regelung würde daraus für diese Randbereiche eine Annahme über den Staudruck  $Q_b$  von mindestens  $0.7 \cdot Q_b, \max$  resultieren.

Die Erfordernisse für eine solche bundeseinheitliche Regelung sind summarisch für die 50-Jahres-Böen nochmals in der Abb. 7 zusammengefaßt. Die Sektorgrenzen entsprechen den Vertikalen in Abb. 6.2. Wir weisen darauf hin, daß auch eine eingehendere Untersuchung bezüglich einer bundeseinheitlichen Regelung nur zu einer Vergrößerung der dort dargestellten Sektoren A und B, nicht aber zu einer Einengung führen kann.



Eine Einengung der Richtungsbereiche mit hohen Staudrucken (A und B) kann ausschließlich über eine sehr detaillierte Regionalisierung der Lastannahmen erreicht werden. Ob aber für die dazu notwendige Untersuchung das vorhandene Datenmaterial des Deutschen Wetterdienstes ausreichen würde, können wir hier nicht abschließend beurteilen. Es erscheint aber sehr wahrscheinlich, daß dazu erst noch Sondermeßstellen mit einer speziellen Datenaufnahme- und -auswertemethodik eingerichtet und über etwa 10 Jahre betrieben werden müßten.

## 7. Schlußfolgerungen für die Bautechnik

Die Auswertung der Abb. 4.1-4.10 und 5.1-5.10 ergab, daß an allen zehn betrachteten Stationen in Deutschland die höchsten Böen stets im West-Sektor zu verzeichnen sind. Das ist insofern bemerkenswert, als drei dieser Stationen extra wegen einer starken Führung des Windes in Nord-Süd-Richtung durch Täler und Berge ausgewählt wurden. Die Führungseffekte vermindern sich jedoch mit zunehmender Windgeschwindigkeit so sehr, daß die Richtungsverteilung der extremen Böen in ganz Deutschland als "ähnlich" bezeichnet werden muß. Unberührt davon bleibt die bekannte Tatsache, daß die Geschwindigkeit der Böen von der Küste (Maximum List/Sylt: 51.6 m/s) zum Binnenland (Maximum Bamberg: 28.6 m/s) hin abnimmt.

Die Richtung der maximalen 50-Jahres-Bö ist an den verschiedenen untersuchten Stationen allerdings nicht vollkommen gleich, sondern schwankt zwischen 220 Grad (Nürnberg) und 290 Grad (Bonn). Zu beiden Seiten neben der jeweiligen Richtung des Maximums nehmen die 50-Jahresböen ab. Die Abb. 6.2 enthält die Breite der Sektoren, in der diese Werte noch mehr als 84% der maximalen Böen-Geschwindigkeit betragen, das entspricht 70% des Staudruckes der maximalen 50-Jahresbö. Diese Sektorbreite beträgt im Mittel 92 Grad. In Anbetracht der statistischen Unsicherheit in der Extrapolation auf die 50-Jahresböen von  $\pm 3$  m/s kann sie aber durchaus noch etwas größer sein.

Als Mittelwert über alle 10 Stationen ist der Teil des Westsektors, aus dem die maximalen 50-Jahres-Böen stammen, mit 92 Grad relativ breit. Im Einzelfall schwankt er zwischen 64 Grad in Westermarkelsdorf (Fehmarn) und 123 Grad in Kassel, aber auch die relativ unbeeinflusste Station List (Sylt) zeigt eine Sektorbreite von 114 Grad. Dazu ist auch die absolute Lage des Sektors in der Windrose noch Schwankungen unterworfen. So liegt er z.B. in List zwischen 240 und 353 Grad (also West-Süd-West bis fast Nord), während er in Nürnberg zwischen 192 und 293 Grad liegt (Süd-Süd-West bis Nord-West). Diese Angaben sind in der Abb. 7 zusammenfassend dargestellt.

Die mittlere Herkunftsrichtung der maximalen 50-Jahresbö beträgt für alle 10 Stationen 260 Grad, also fast genau West. Die Auswirkungen des Untersuchungsergebnisses auf die Windlastannahmen sollen an einem hypothetischen Beispiel erläutert werden: Man stelle sich vor, an allen Stationen würde ein Gebäude errichtet, das in dieser Richtung auf die von uns ermittelte maximale örtliche Windgeschwindigkeit hin dimensioniert ist. Diese Annahmen könnten durch ein entsprechend orientiertes Scheibenhochhaus verwirklicht werden. Senkrecht dazu (nach 170 bzw. 350 Grad) sei es schwächer dimensioniert. Dieses Gebäude müßte dann auf seiner "schwachen Achse" z.B. in List noch wenigstens 70% des maximalen örtlichen Staudrucks (aus 350 Grad), in Nürnberg ebenfalls 70%, aber fast aus

der Gegenrichtung (196 Grad), durch 50-Jahresböen aushalten. Nur zur rückwärtigen Richtung (80 Grad) könnte es vielleicht noch schwächer dimensioniert sein.

Für Bauten mit quadratischem Grundriß, die mit einer Ecke nach 260 Grad ausgerichtet sind, gilt eine solche Schlußfolgerung sicher nicht mehr, ebensowenig für schwingungsfähige Gebäude oder für die Druck- und Sogwirkungen innerhalb von Gebäuden oder an Dächern und vieles andere mehr.

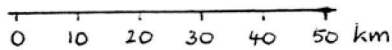
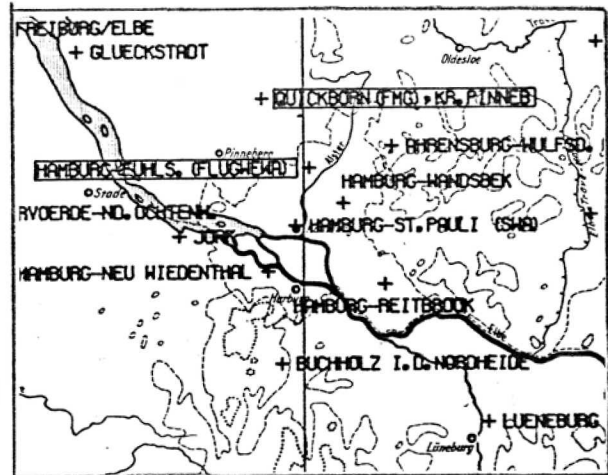
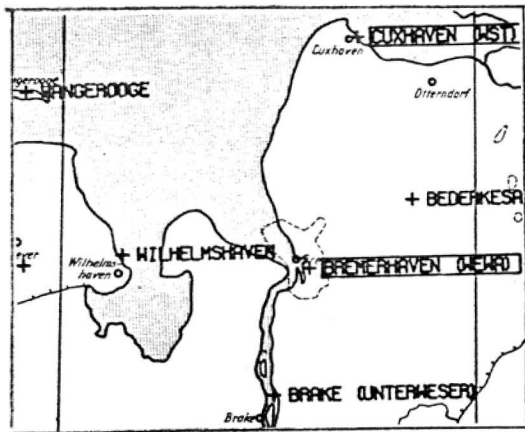
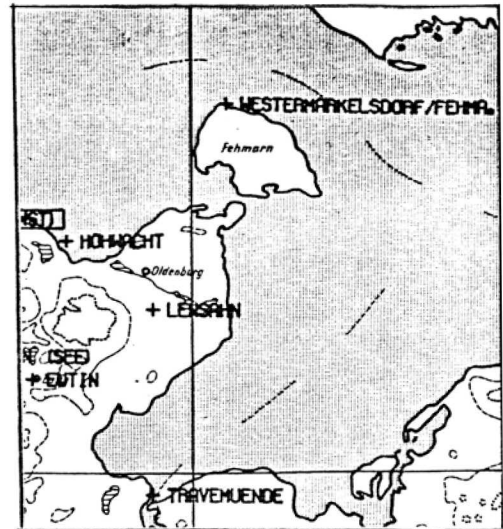
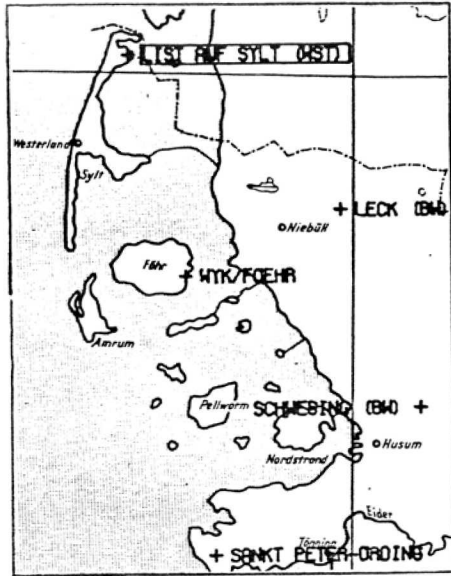
Aus meteorologischer Sicht ist daher die Schlußfolgerung zu ziehen, daß es nur bei strenger Ausrichtung an der Generalrichtung von 260 Grad und wahrscheinlich auch nur bei bestimmten ingenieurmäßig bemessenen und durchkonstruierten Bauwerken möglich erscheint, in einer Achse senkrecht zur Generalrichtung von 260 Grad eine Verminderung der Lastannahme im Staudruck um höchstens 30% in Erwägung zu ziehen. Dazu wäre aber eine wesentlich eingehendere Untersuchung unabdingbar. Wegen der statistischen Unsicherheit der Extrapolation und der nur stichprobenartigen Erfassung der regionalen Besonderheiten kann aus der hier vorliegenden Untersuchung eine Reduktion der Lastannahmen in Querrichtung keinesfalls verantwortet werden. (Dies gilt auch für die Windlasten, die für die vorgesehene Neufassung der DIN 1055, Teil 4 angenommen werden).

Zumindest theoretisch erscheint es denkbar, das Verhältnis in den Lastannahmen von Längs- zu Queranströmung durch eine sehr ins einzelne gehende Regionalisierung der Untersuchung weiter zu vermindern. In der Praxis erscheint uns dies aber aus zwei Gründen nahezu undurchführbar. Bereits bei der Untersuchung der richtungsunabhängigen Extremböen /1/, /2/, /3/ ist sehr deutlich geworden, daß die regionalen Verschiedenheiten des Windklimas mittels der verfügbaren Daten nur unvollkommen darzustellen sind. Die Daten, die dazu zusätzlich erforderlich wären, müßten erst noch mit speziellen Methoden über wenigstens 10 Jahre gemessen werden. Die vorliegende Pilotstudie hat die notwendigen Grundlagen für eventuell weiterführende Untersuchungen geliefert.

Durch die Diskussionen anläßlich der geplanten Neufassung der DIN 1055, Teil 4 ist offensichtlich geworden, daß eine starke Regionalisierung der Bauvorschriften, die sich ja nur noch nach meteorologischen Gegebenheiten, nicht aber nach Gemeindegrenzen vornehmen ließe, in der Praxis sicher auf unüberwindliche Schwierigkeiten stieße. Eine generalisierte, d.h. für die gesamte Bundesrepublik gültige Angabe würde voraussichtlich eine "Lastrose" ergeben, die nur noch in Sonderfällen zu Vorteilen bei der Bemessung von Bauwerken führt.

## 8. Literatur

- /1/ Duensing, G., Schmidt, H.: "Extremalwindgeschwindigkeiten in Schleswig-Holstein"; Abschlußbericht eines Forschungsvorhabens des DWD gefördert durch das IfBt (Berlin); Hamburg 1979.
- /2/ Duensing, G., Schmidt, H.: "Extremalwindgeschwindigkeiten in Niedersachsen (Küstenregion)"; Abschlußbericht eines Forschungsvorhabens des DWD, gefördert durch das IfBt (Berlin); Hamburg 1981.
- /3/ Böllmann, G., Jurksch, G.: "Ein Beitrag zur Festlegung der Grundwind- und Nennböengeschwindigkeit im Binnenland der Bundesrepublik Deutschland für die DIN-Norm 1055, Teil 4"; Meteorol. Rundsch., Nr. 37, S. 1-10, Gebr. Bornträger, Berlin, Stuttgart 1984.
- /4/ Schroers, H., Lösslein, H.: "Messung der Starkwindstruktur und deren Auswirkung auf das Windlastkonzept von Bauwerken"; Abschlußbericht eines Forschungsvorhabens des Met.Inst. der Univ. München, gefördert durch das IfBt (Berlin); München 1983.
- /5/ Wieringa, J., Rijkoort, P.J.: "Windklimaat van Nederland"; Koninkl. Nederl. Meteorol. Inst. 2; 1983.
- /6/ Schmidt, H.: "Zur Extrapolation empirischer Verteilungen der Windgeschwindigkeit für Standorte im Flachland und auf freier See"; Meteorol. Rundsch., Nr. 33, S. 129-137; Gebr. Bornträger Berlin, Stuttgart, 1980.
- /7/ Benesch, W. et al.: "Die Windverhältnisse in der Bundesrepublik Deutschland im Hinblick auf die Nutzung der Windkraft"; Berichte des Deutschen Wetterdienstes Nr. 147; Selbstverlag, Offenbach am Main, 1978.
- /8/ Duensing, G. et al.: "Meteorologische Untersuchungen über Stürme an der deutschen Nordseeküste"; Einzelveröffentlichung des Seewetteramtes Nr. 108; Selbstverlag, Hamburg, 1985. (/8/ enthält u.a. eine zusammenfassende Darstellung der unveröffentlichten Berichte /1/ und /2/).

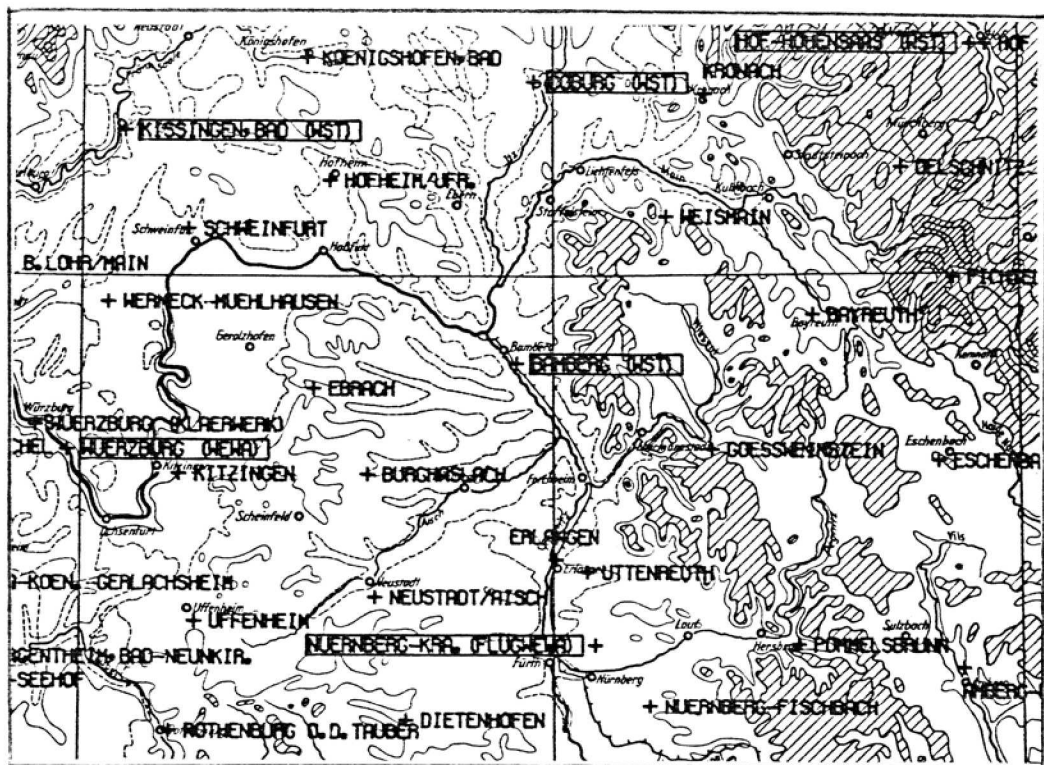
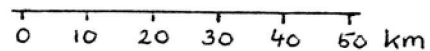
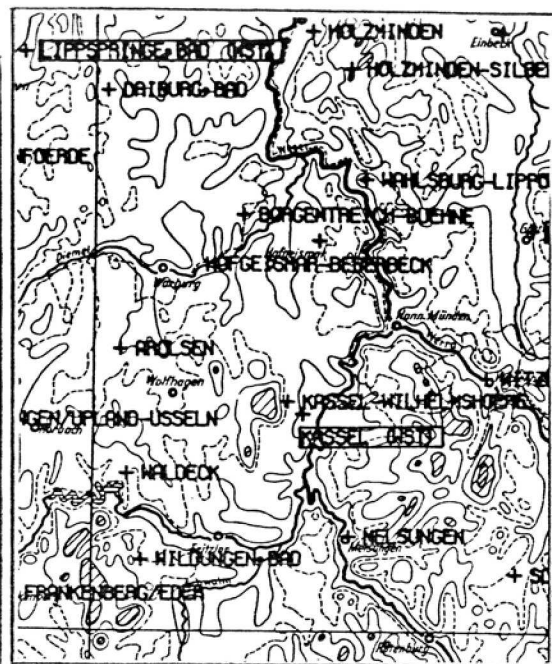
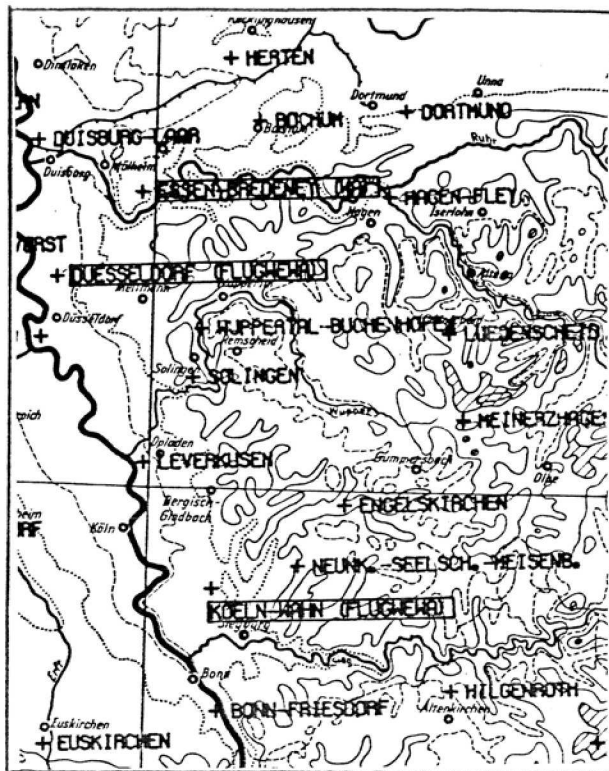


Lage der Stationen:

- List/Sylt
- Westernmarkelsdorf/Fehmarn
- Hamburg-Fuhlsbüttel
- Bremerhaven
- Hannover Langenhagen

Ausschnitte ca. 1:1000000  
Stand 1985

Abb. 1.1



Lage der Stationen:

Düsseldorf (Flughafen), Kassel, Bonn-Friesdorf  
 Bamberg, Nürnberg (Flughafen)

Abb. 1.2

Ausschnitte ca. 1:1000000, Stand 1985

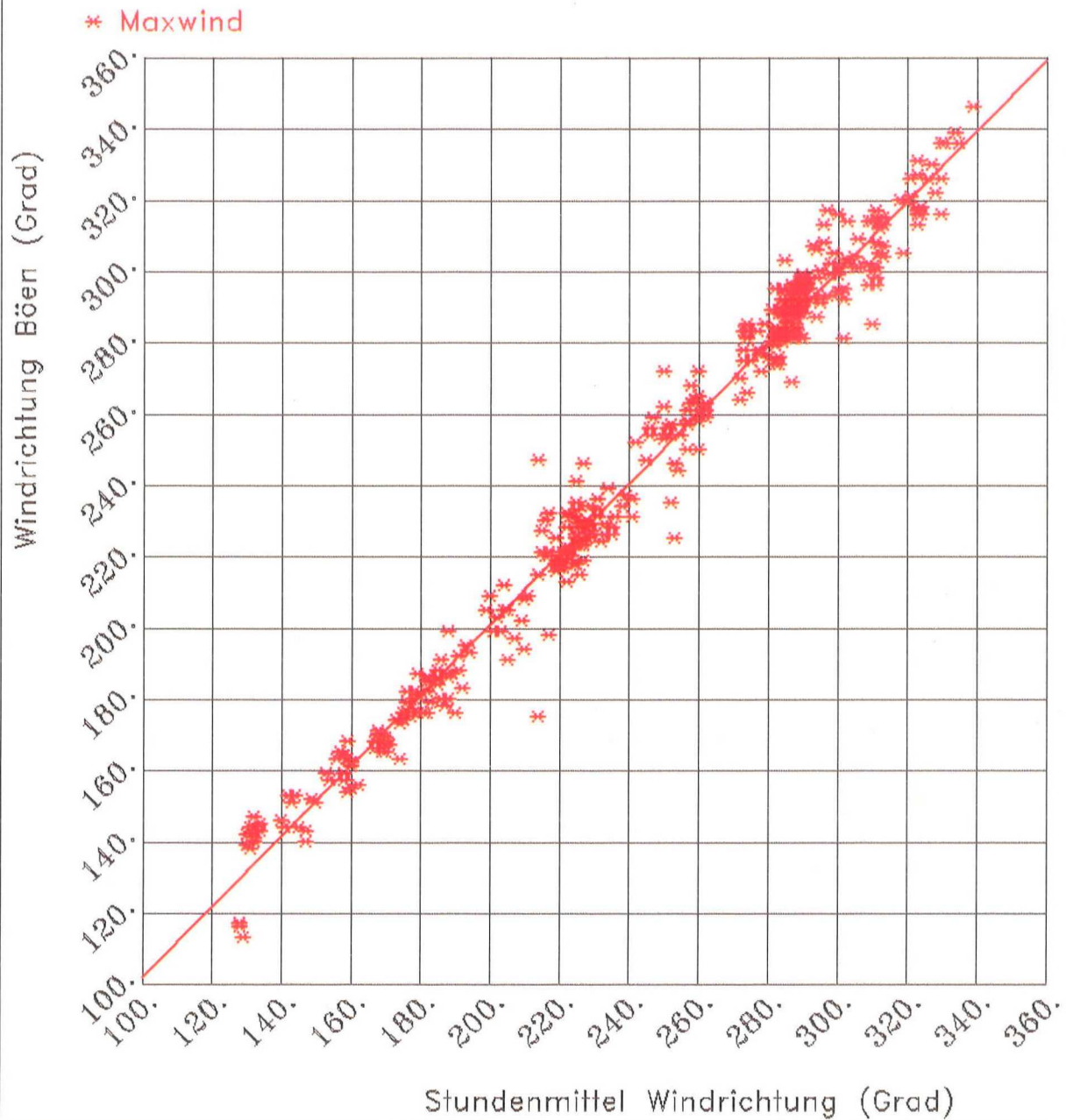
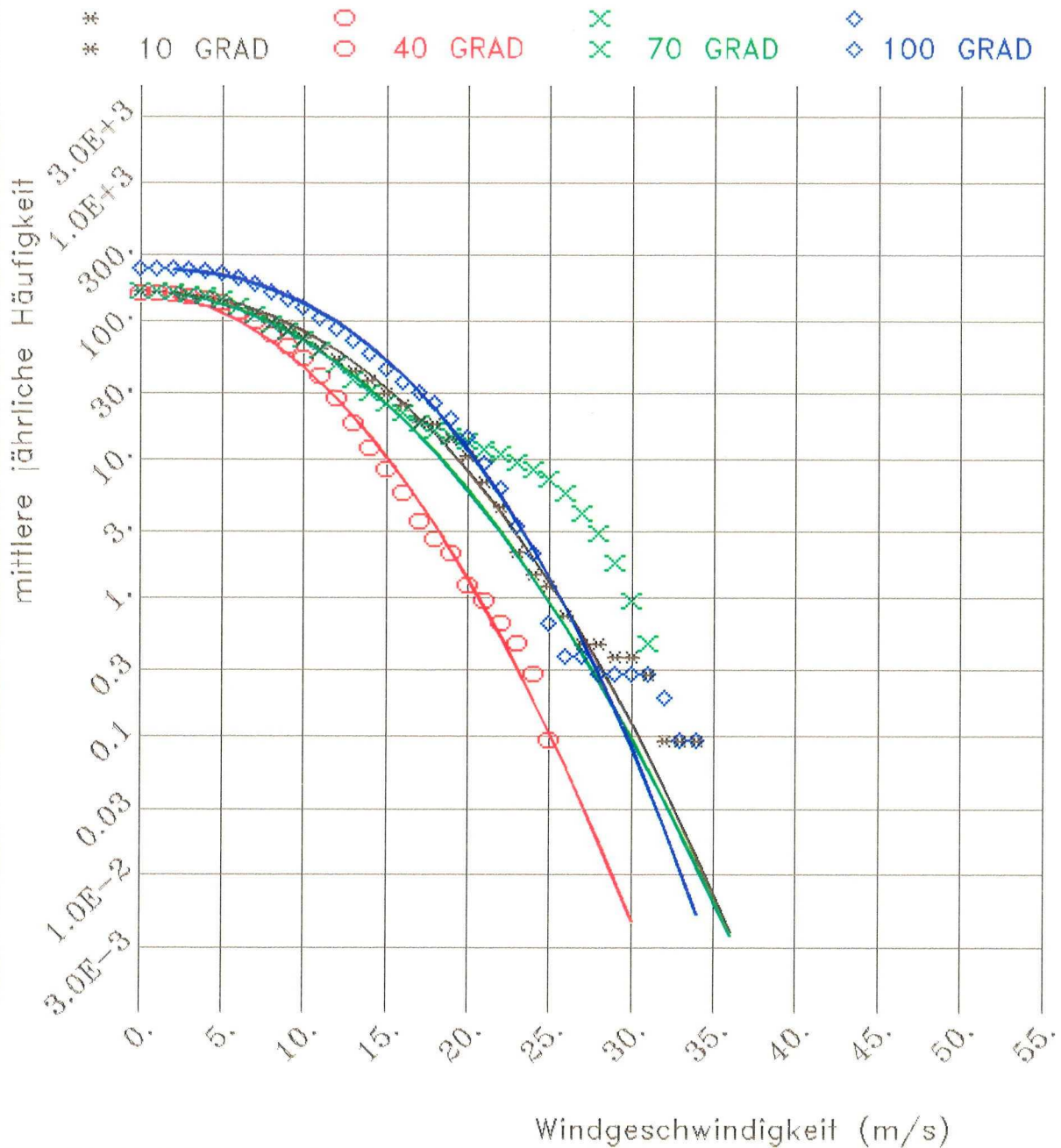
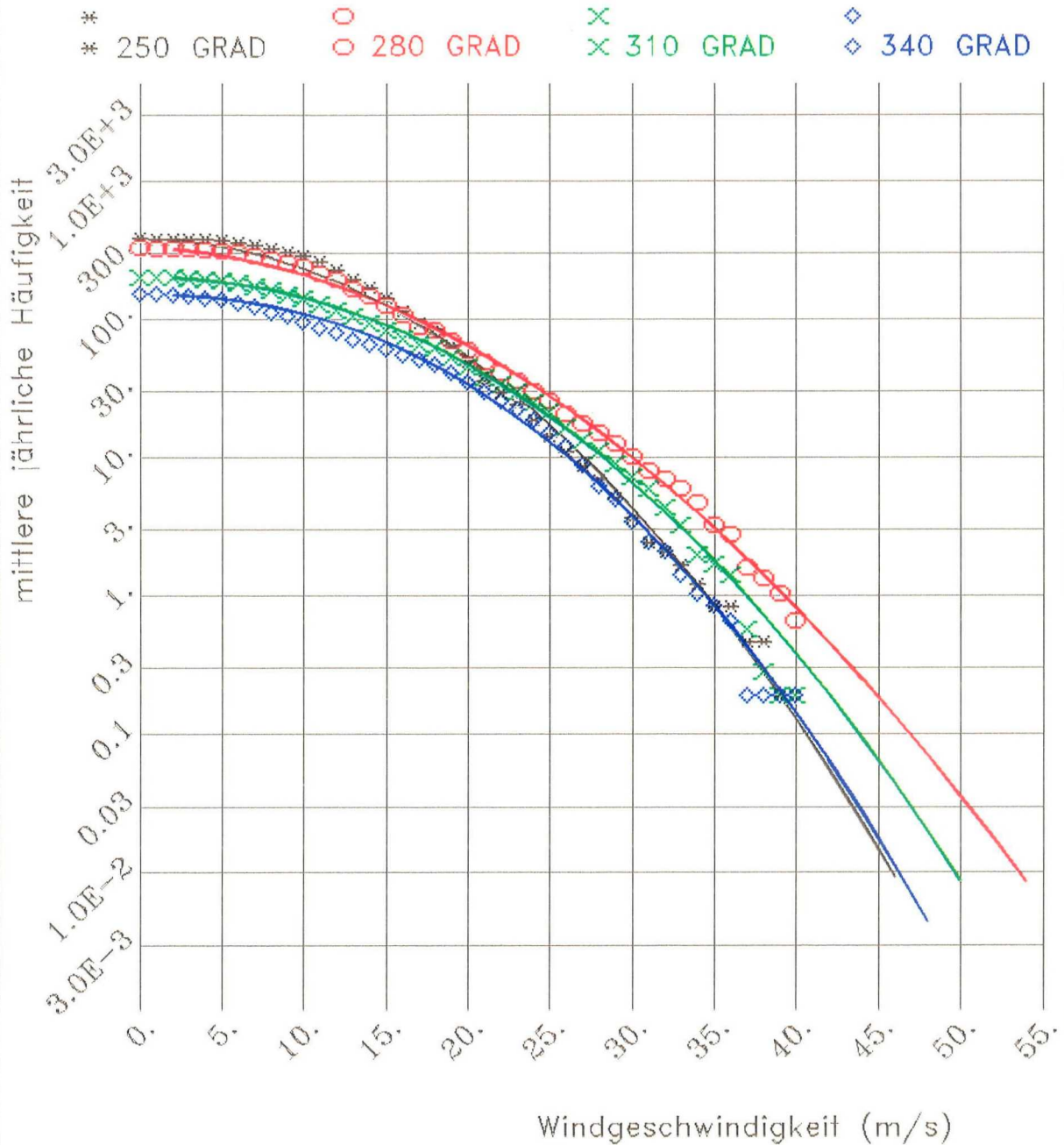


Bild 2 BÖENMESSANLAGE SYLT Versuche 500-535  
Zusammenhang zwischen der momentanen Richtung  
der Windgeschwindigkeitsextrema (1 Sek-Mittel)  
und dem Stundenmittel der Windrichtung  
(insgesamt 378 Stunden)

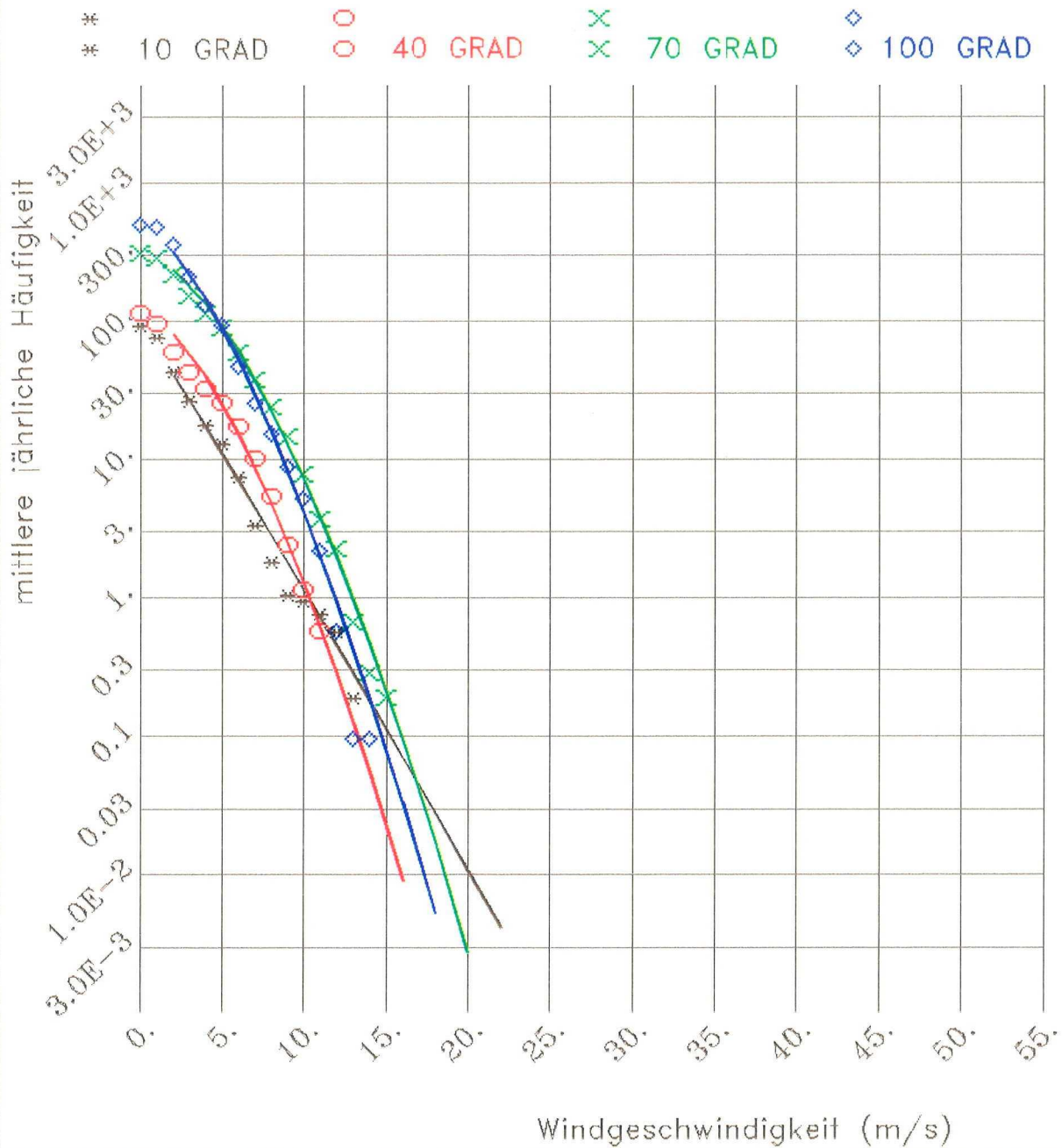


LIST/SYLT      Winter  
 Verteilung der stündlichen Maximalböen  
 für verschiedene Richtungssektoren (s.o.)  
 und die Weibull-Approximation, extrapoliert bis  
 "einmal in 100 Jahren" = 0.01 Ereignisse/Jahr

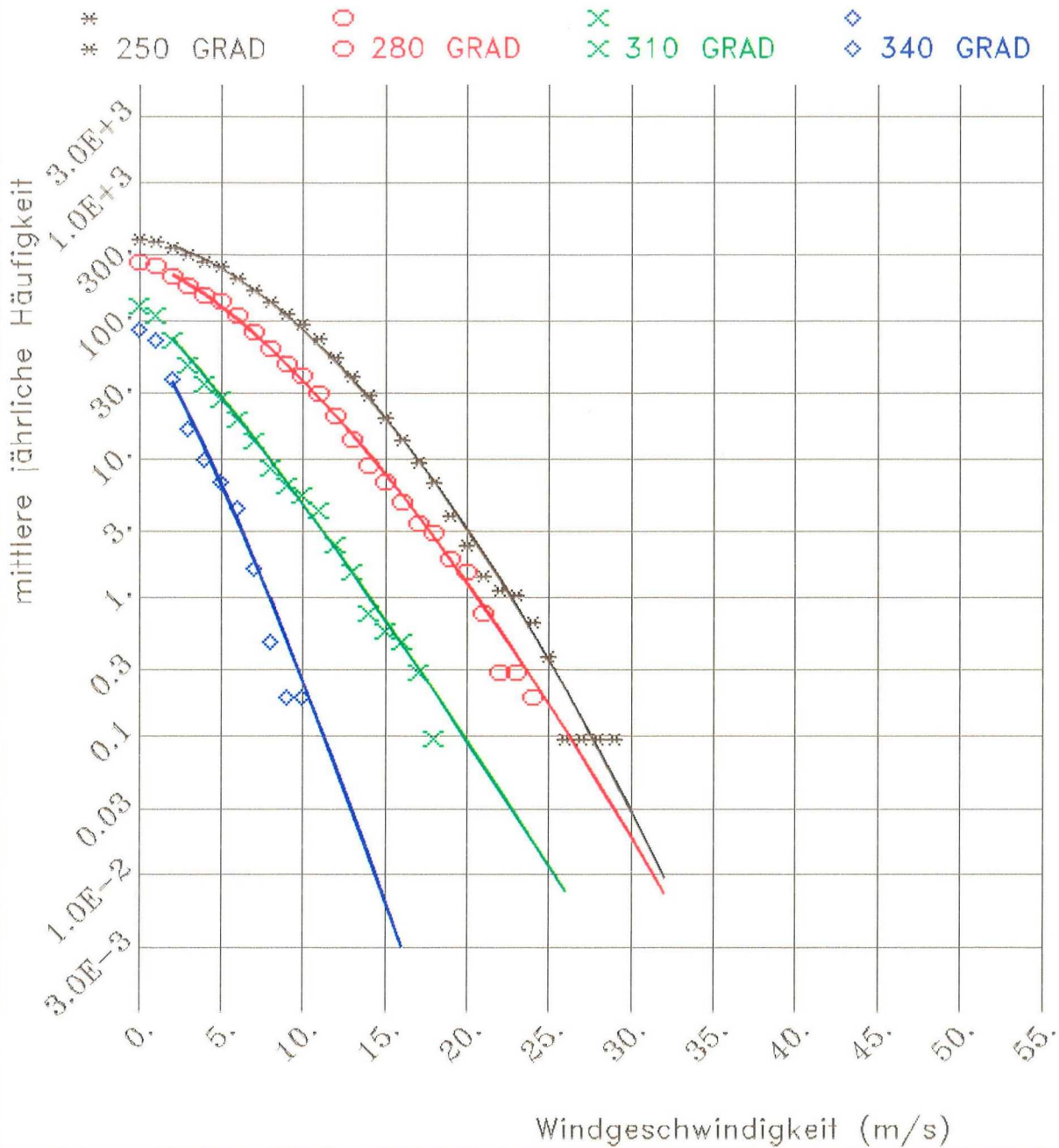




LIST/SYLT Winter  
 Verteilung der stündlichen Maximalböen  
 für verschiedene Richtungssektoren (s.o.)  
 und die Weibull-Approximation, extrapoliert bis  
 "einmal in 100 Jahren" = 0.01 Ereignisse/Jahr



NÜRNBERG                      Winter  
 Verteilung der stündlichen Maximalböen  
 für verschiedene Richtungssektoren (s.o.)  
 und die Weibull-Approximation, extrapoliert bis  
 "einmal in 100 Jahren" = 0.01 Ereignisse/Jahr



NÜRNBERG Winter  
 Verteilung der stündlichen Maximalböen  
 für verschiedene Richtungssektoren (s.o.)  
 und die Weibull-Approximation, extrapoliert bis  
 "einmal in 100 Jahren" = 0.01 Ereignisse/Jahr

DEUTSCHER WETTERDIENST  
SEEWETTERAMT HAMBURG

LIST/SYLT  
Nur Wintermonate  
Norm. s. Tabelle

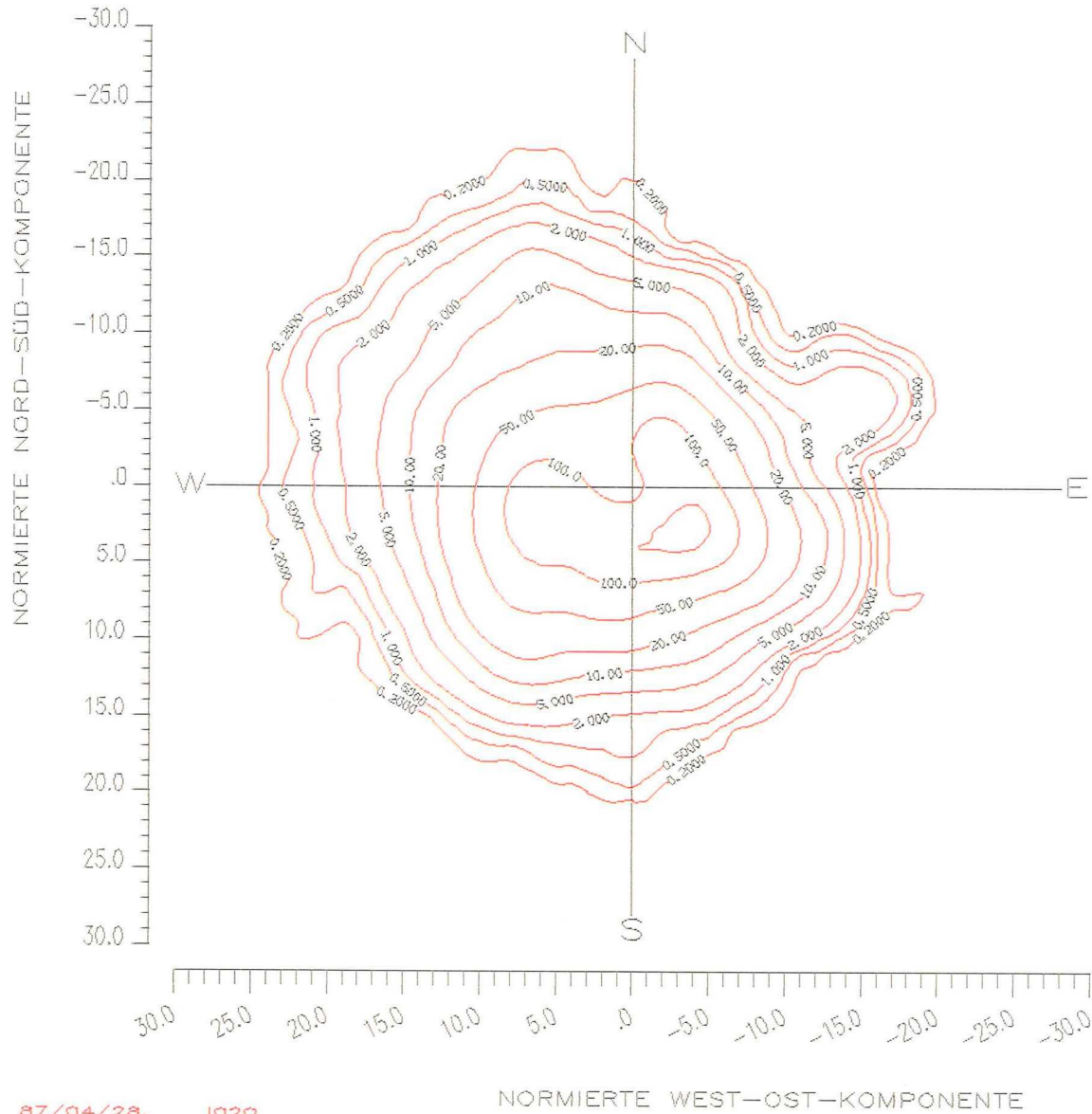
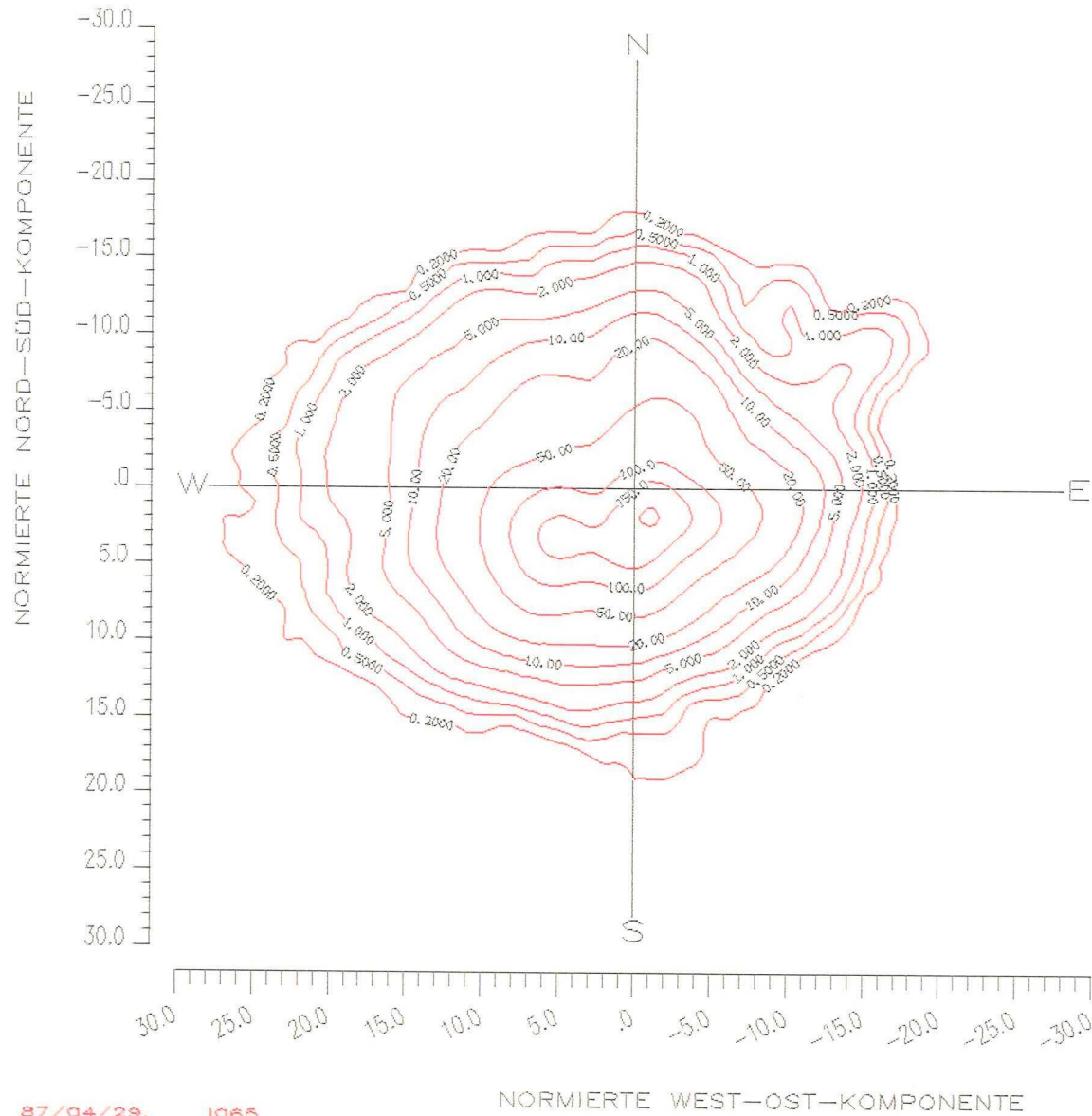


Abb. 4.1

DEUTSCHER WETTERDIENST  
SEEWETTERAMT HAMBURG

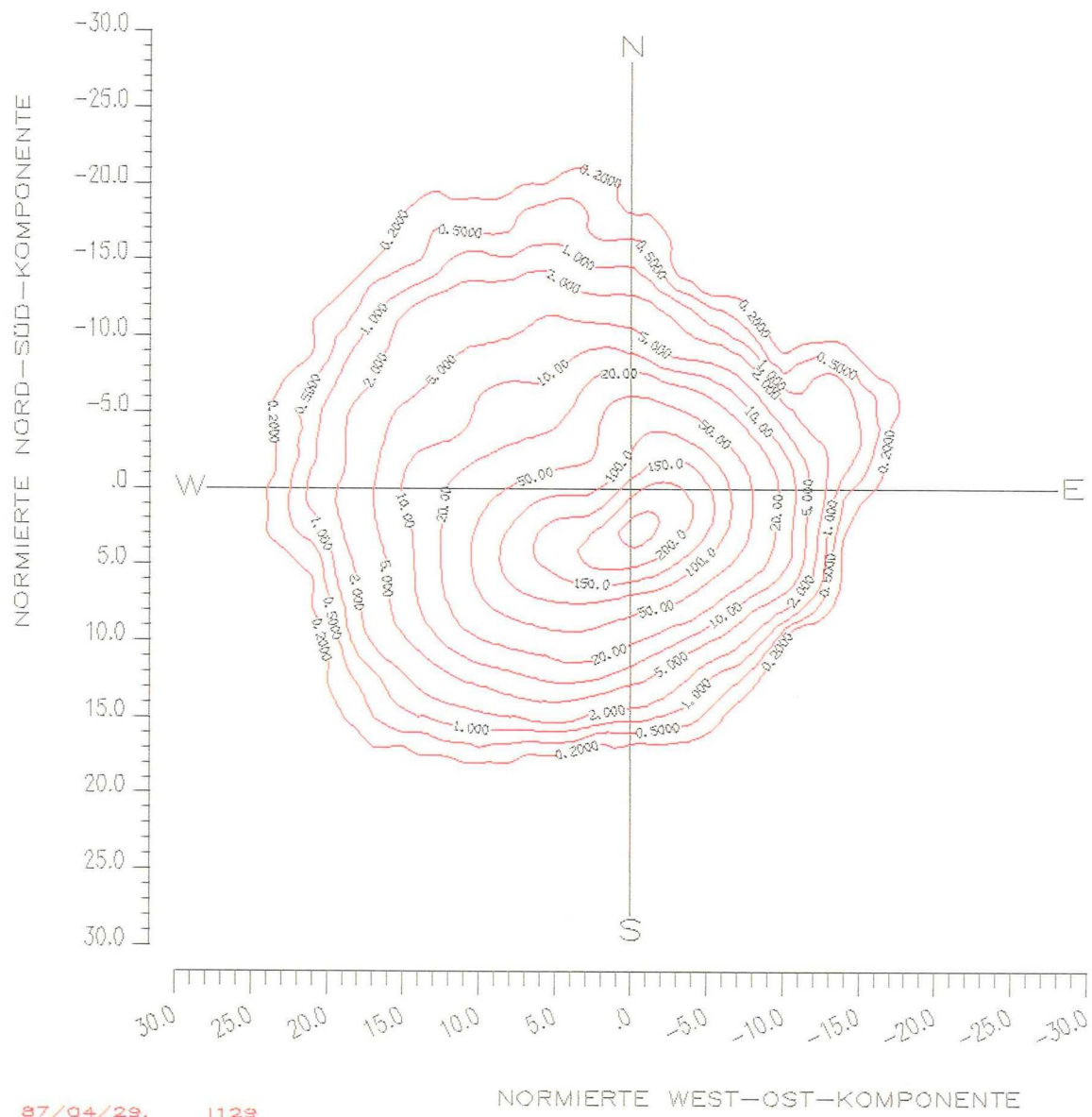
WESTERM./FEHM.  
Nur Wintermonate  
Norm. s. Tabelle



DEUTSCHER WETTERDIENST  
SEEWETTERAMT HAMBURG

# BREMERHAVEN

Nur Wintermonate  
Norm. s. Tabelle

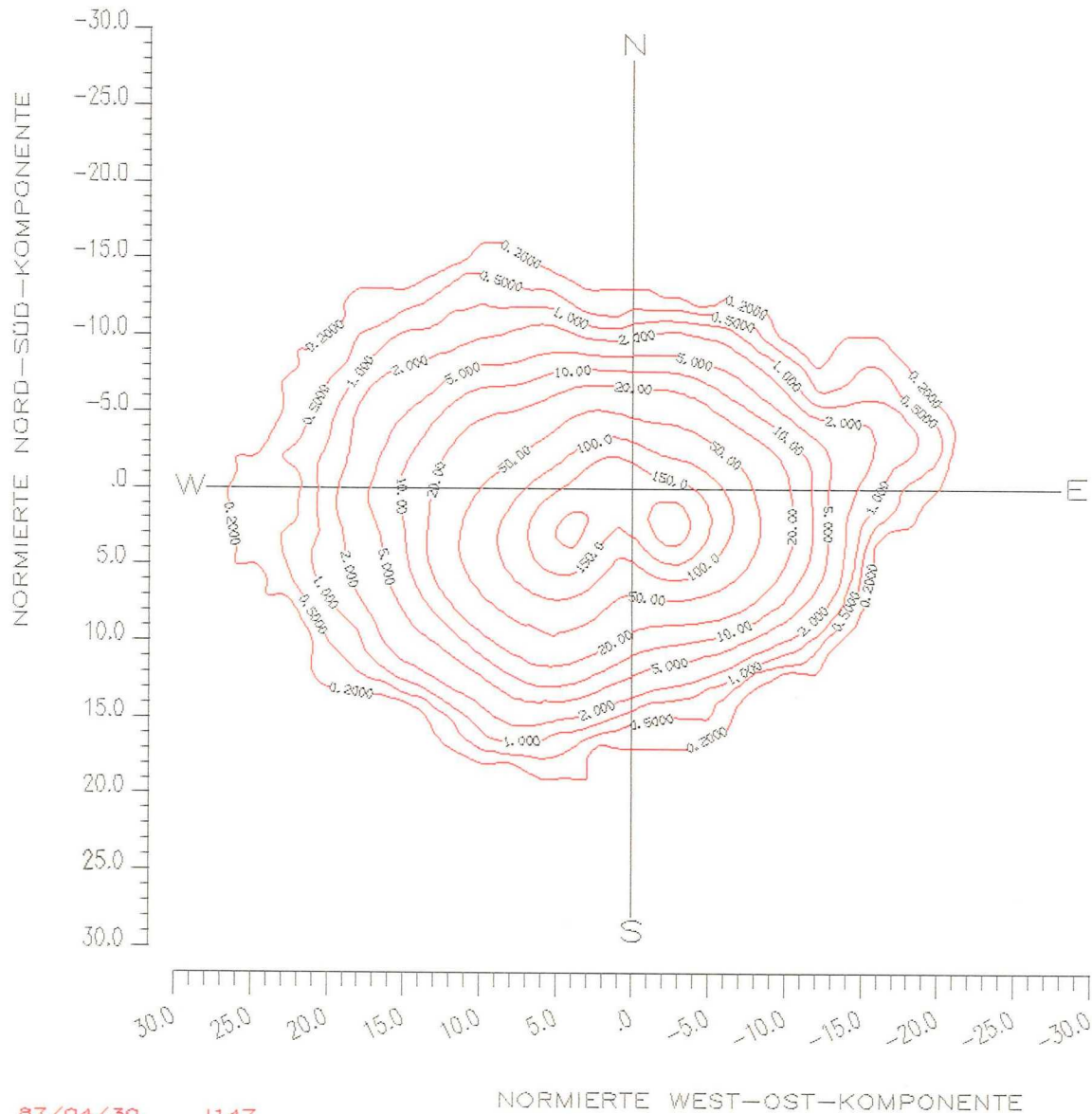


87/04/29. 1129

Abb. 4.3

DEUTSCHER WETTERDIENST  
SEEWETTERAMT HAMBURG

HAMBURG—FU.  
Nur Wintermonate  
Norm. s. Tabelle

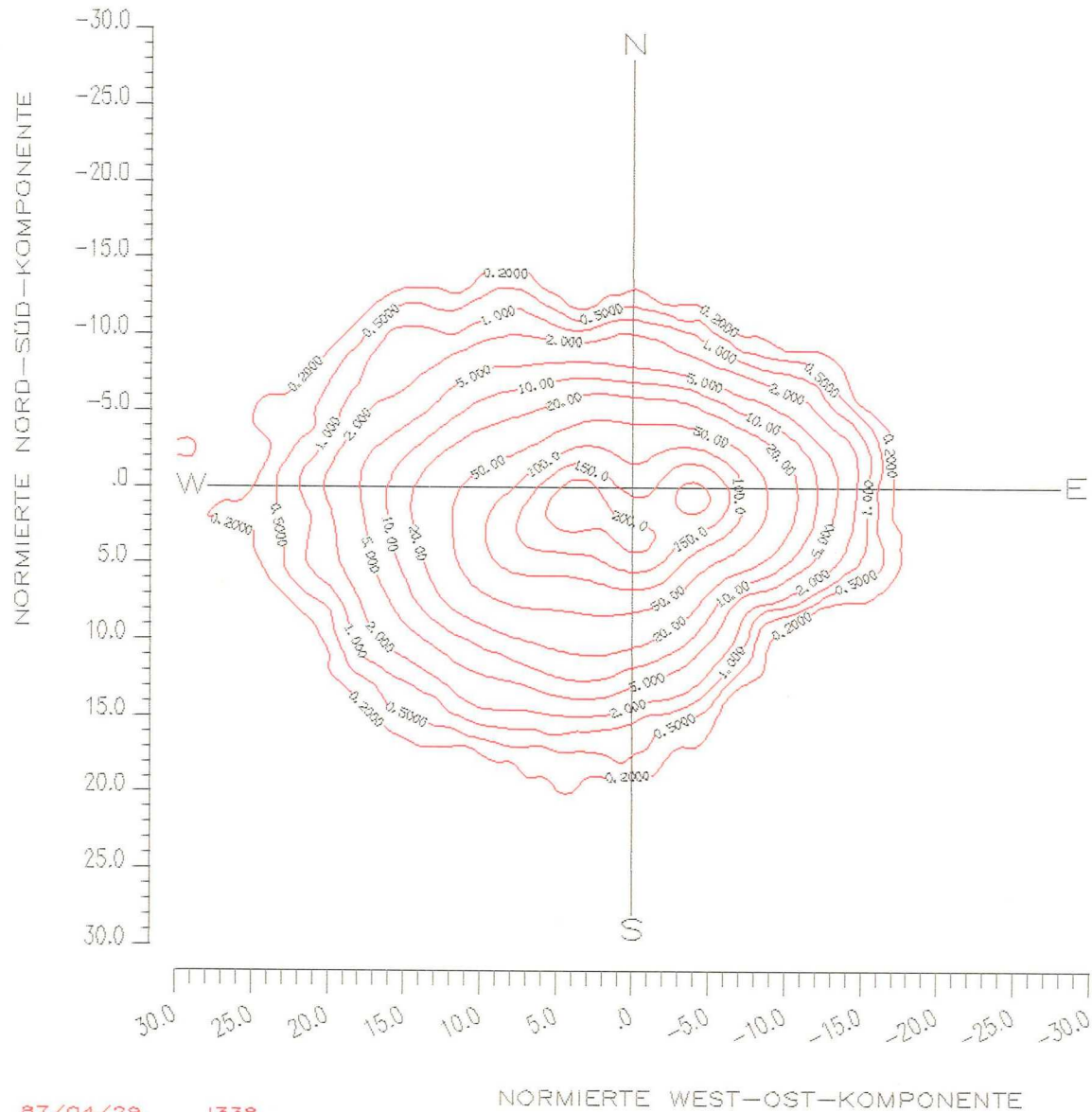


87/04/30.

1147

DEUTSCHER WETTERDIENST  
SEEWETTERAMT HAMBURG

HANNOVER-LA.  
Nur Wintermonate  
Norm. s. Tabelle



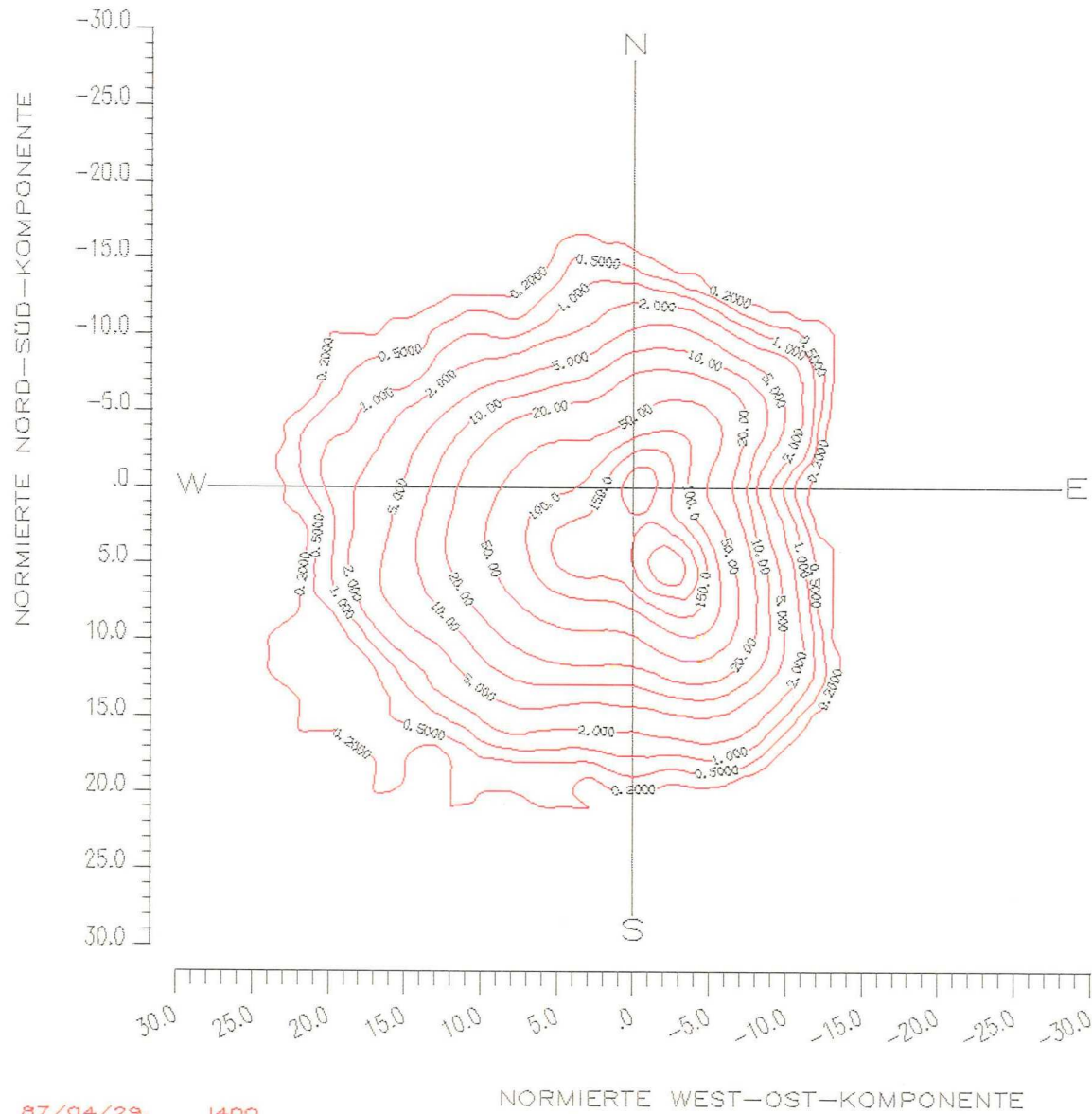
87/04/29. 1338



DEUTSCHER WETTERDIENST  
SEEWETTERAMT HAMBURG

# DÜSSELDORF

Nur Wintermonate  
Norm. s. Tabelle

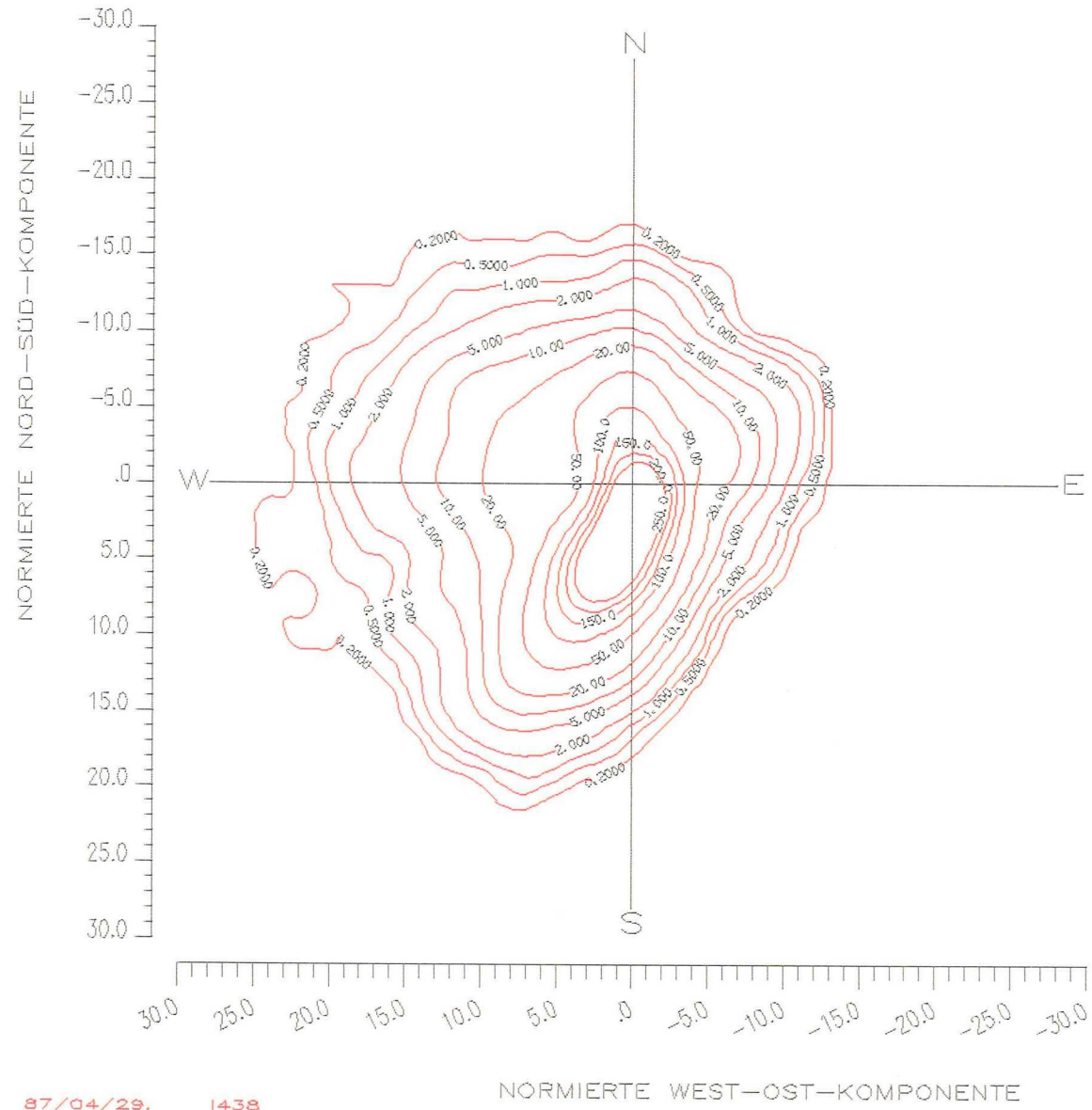


87/04/29. 1400

DEUTSCHER WETTERDIENST  
SEEWETTERAMT HAMBURG

# KASSEL

Nur Wintermonate  
Norm. s. Tabelle

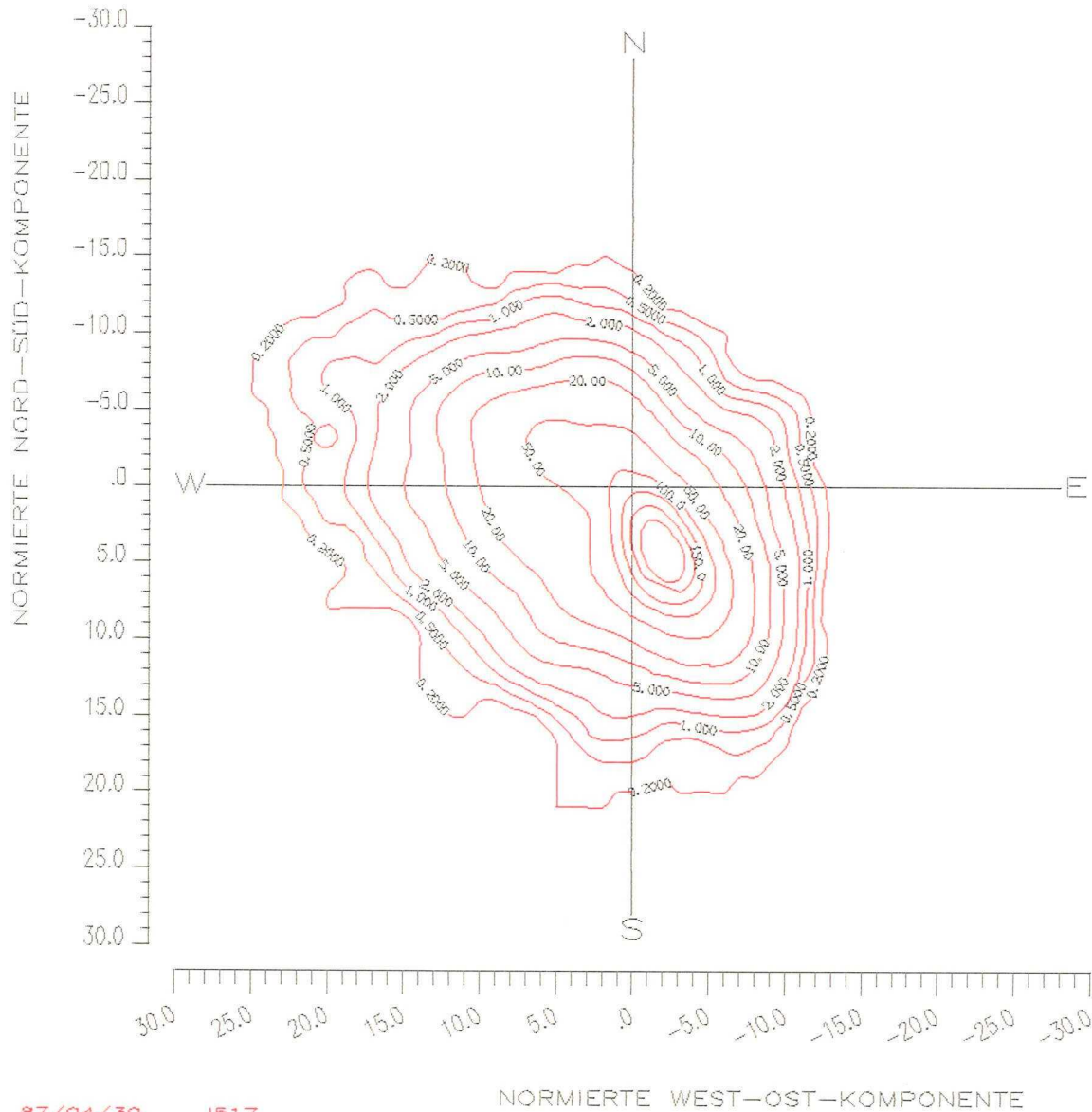


87/04/29. 1438

Abb. 4.7

DEUTSCHER WETTERDIENST  
SEEWETTERAMT HAMBURG

BONN-FRIESDORF  
Nur Wintermonate  
Norm. s. Tabelle

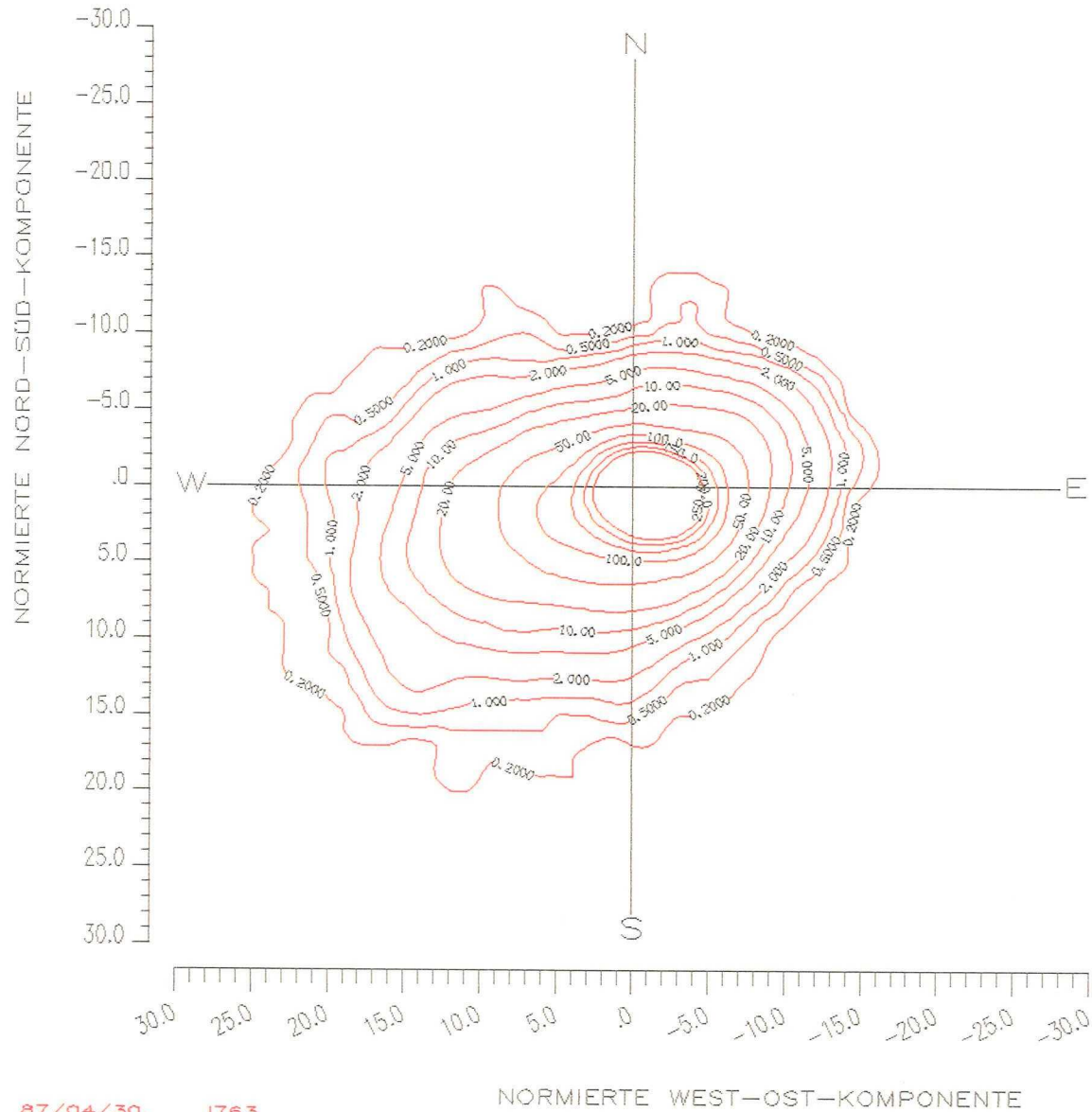


87/04/30. 1517

DEUTSCHER WETTERDIENST  
SEEWETTERAMT HAMBURG

# NÜRNBERG

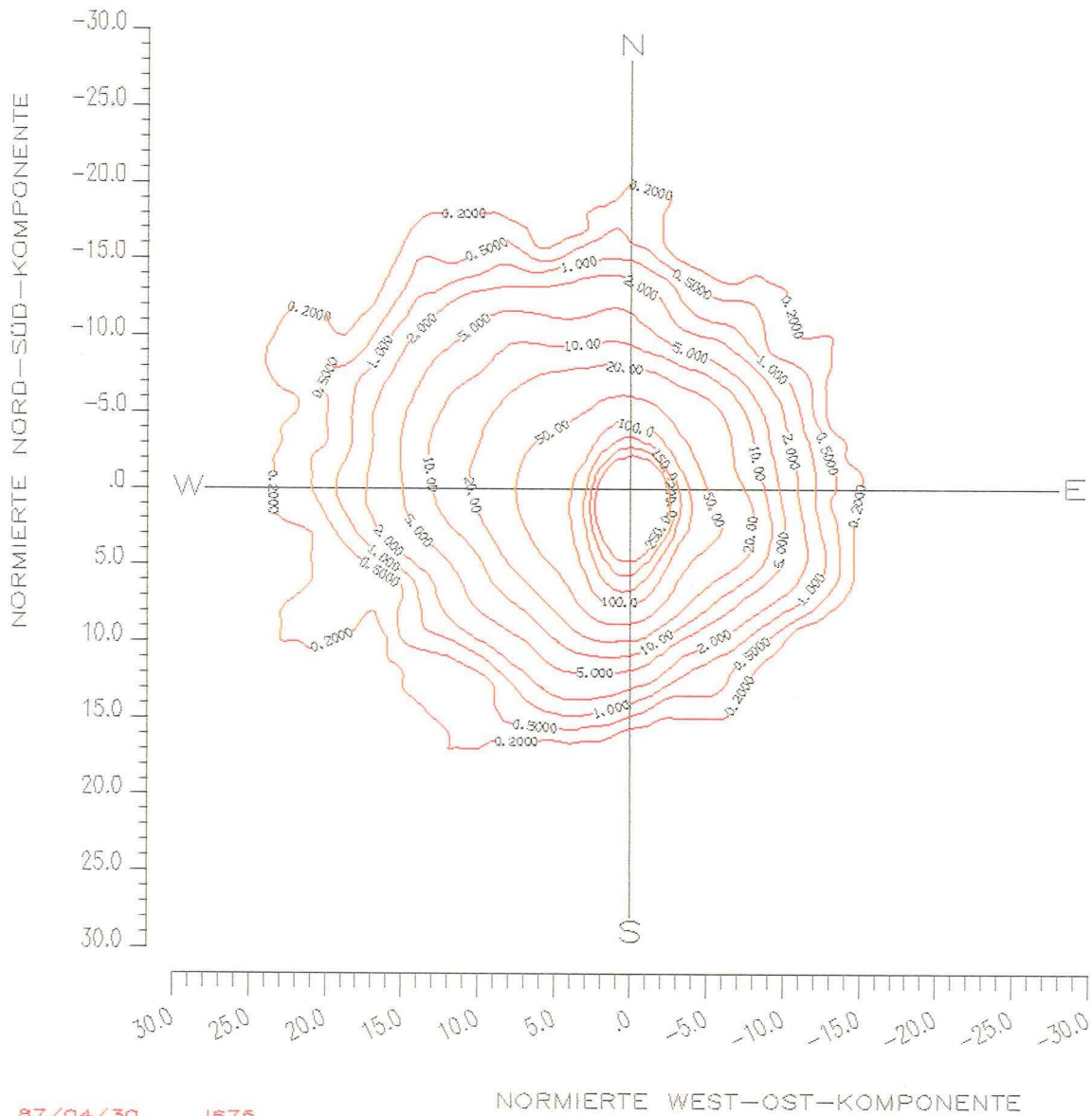
Nur Wintermonate  
Norm. s. Tabelle

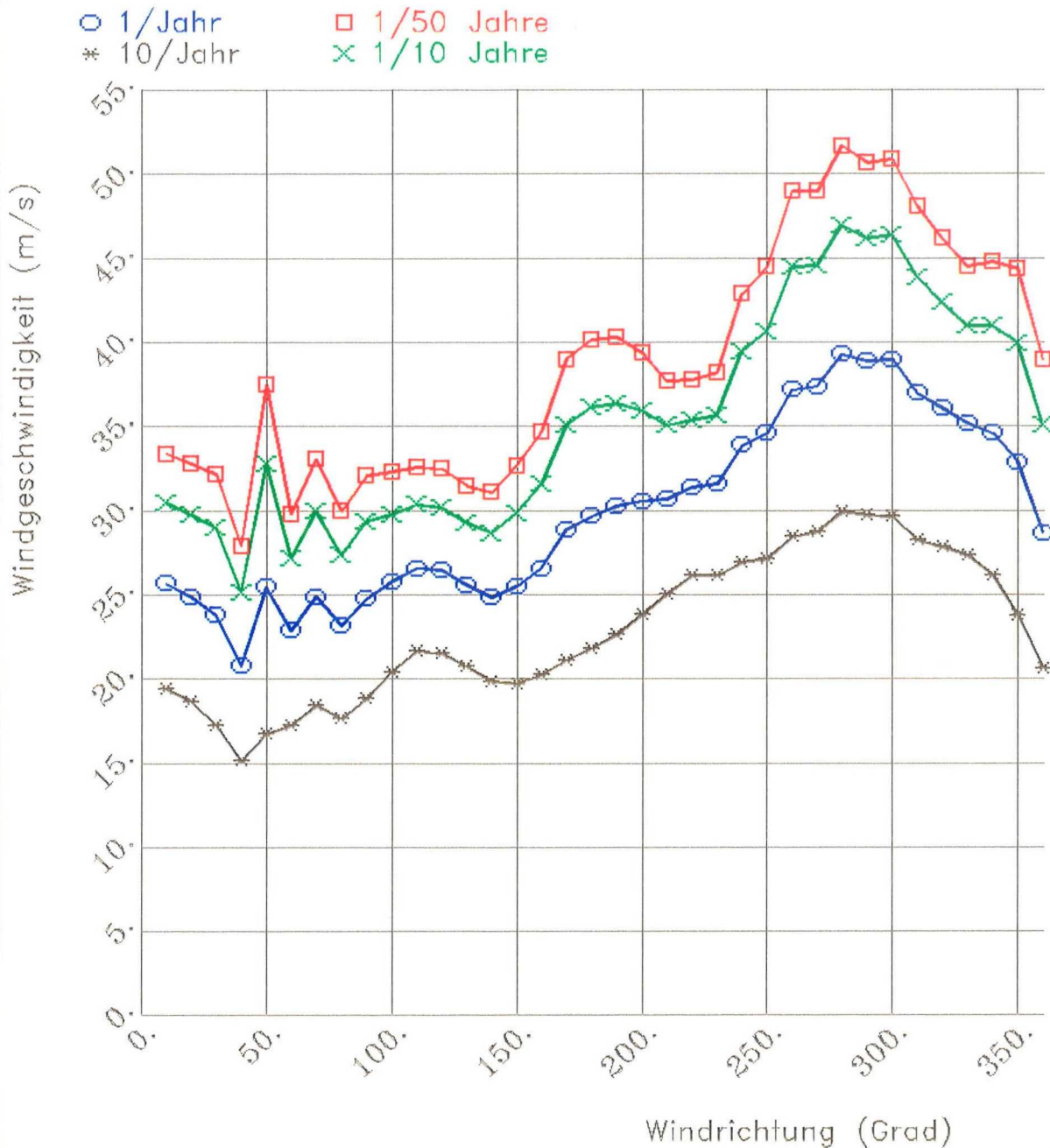


87/04/30. 1763

DEUTSCHER WETTERDIENST  
SEEWETTERAMT HAMBURG

BAMBERG  
Nur Wintermonate  
Norm. s. Tabelle

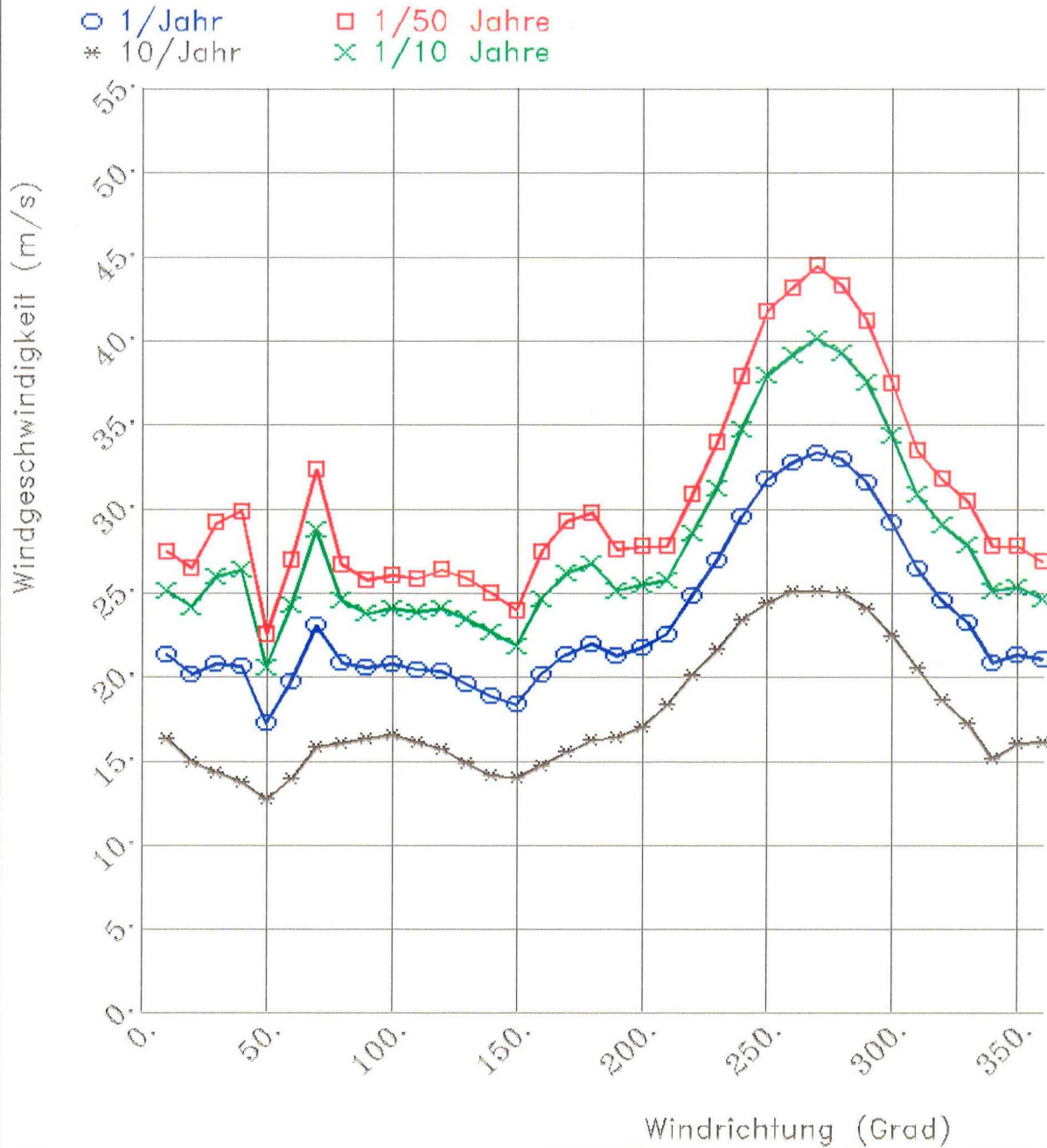




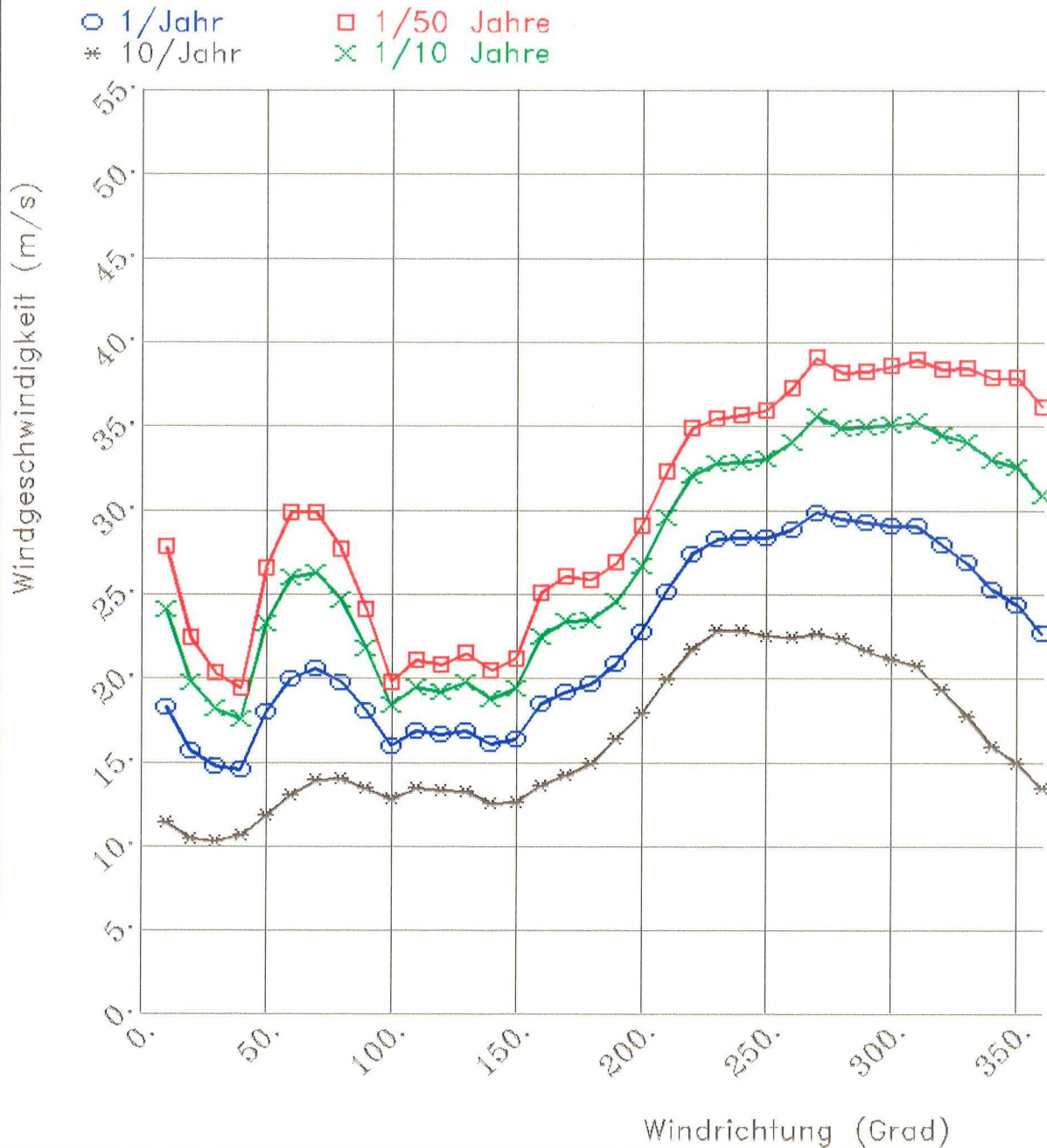
LIST/SYLT

Winter

Schwellenwerte der stündlichen Maximalböen  
in Abhängigkeit von der Windrichtung (30 Grad-Sektoren)  
für verschiedene jährliche Häufigkeit (s.o.)  
nur Wintermonate November bis Februar

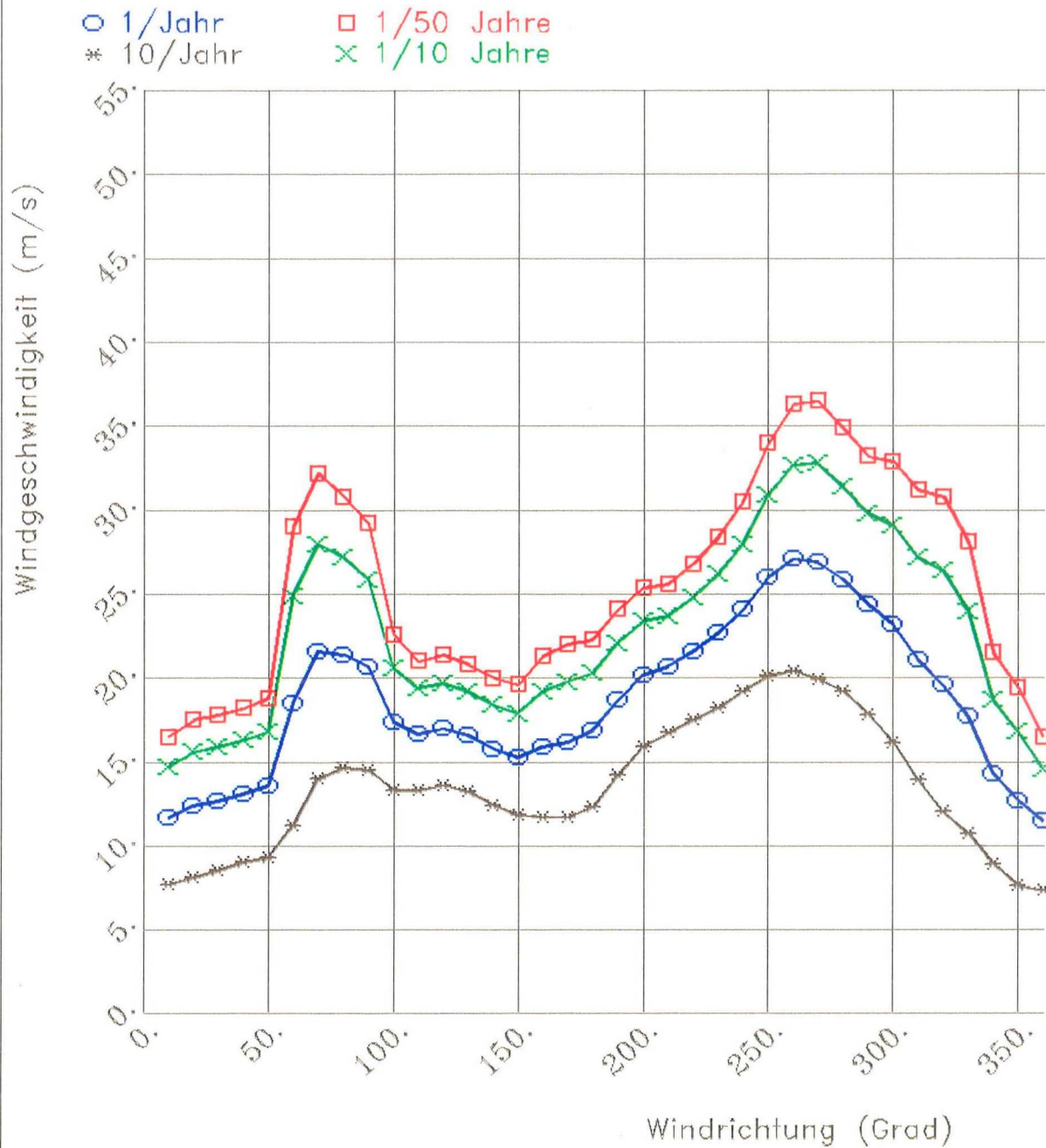


WESTERM/FEHMARN Winter  
 Schwellenwerte der stündlichen Maximalböen  
 in Abhängigkeit von der Windrichtung (30 Grad-Sektoren)  
 für verschiedene jährliche Häufigkeit (s.o.)  
 nur Wintermonate November bis Februar

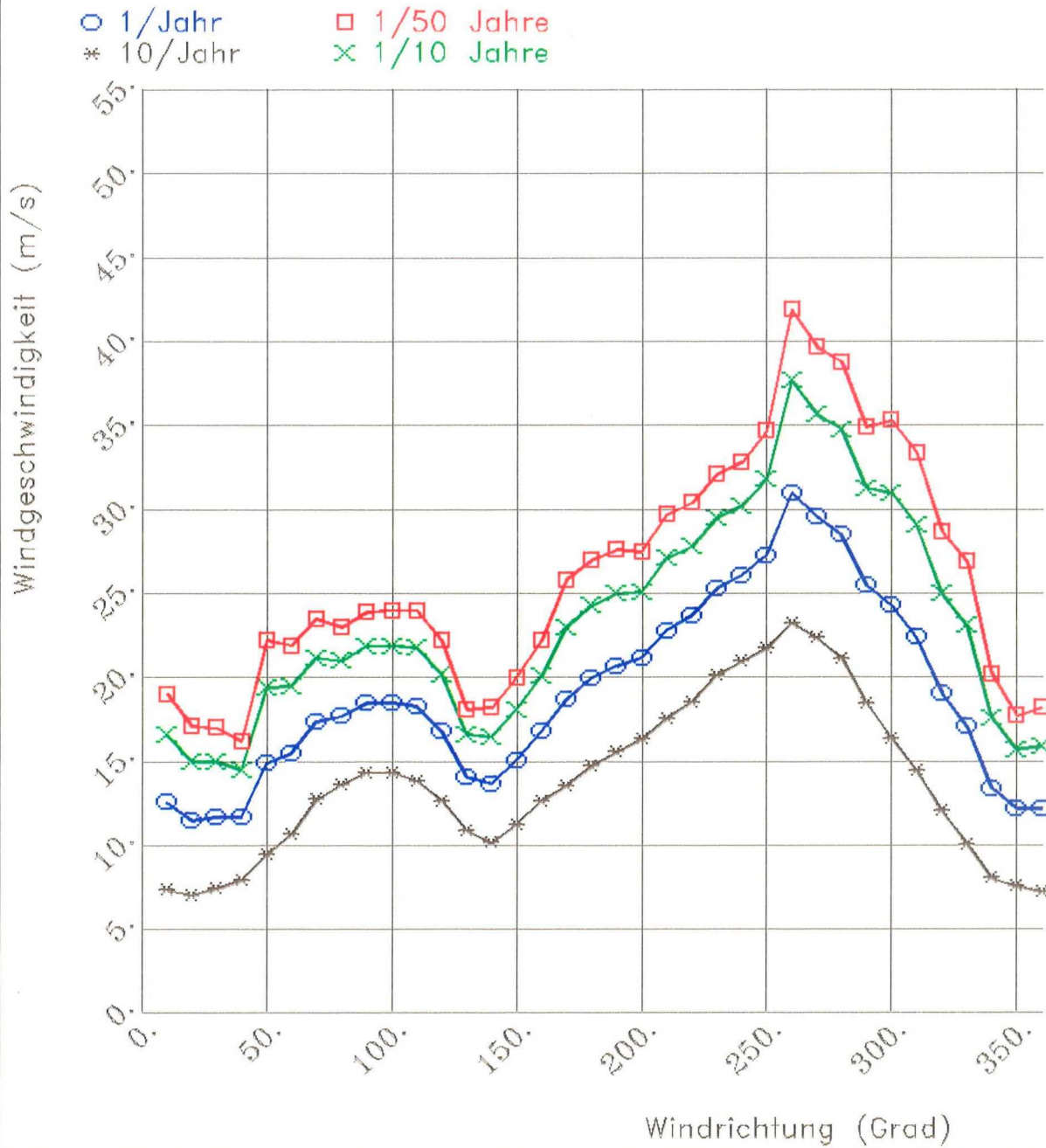


BREMERHAVEN Winter  
 Schwellenwerte der stündlichen Maximalböen  
 in Abhängigkeit von der Windrichtung (30 Grad-Sektoren)  
 für verschiedene jährliche Häufigkeit (s.o.)  
 nur Wintermonate November bis Februar

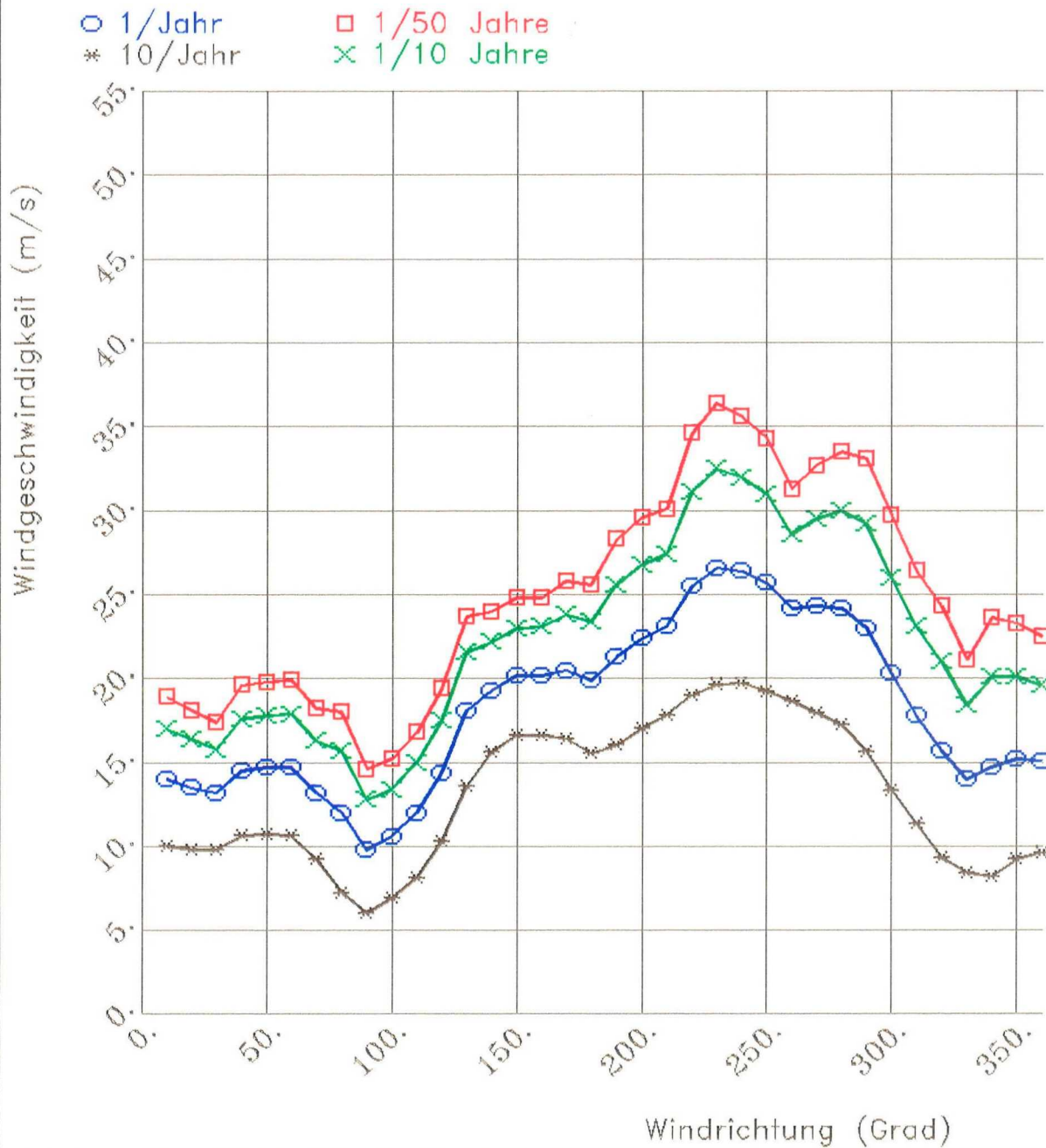




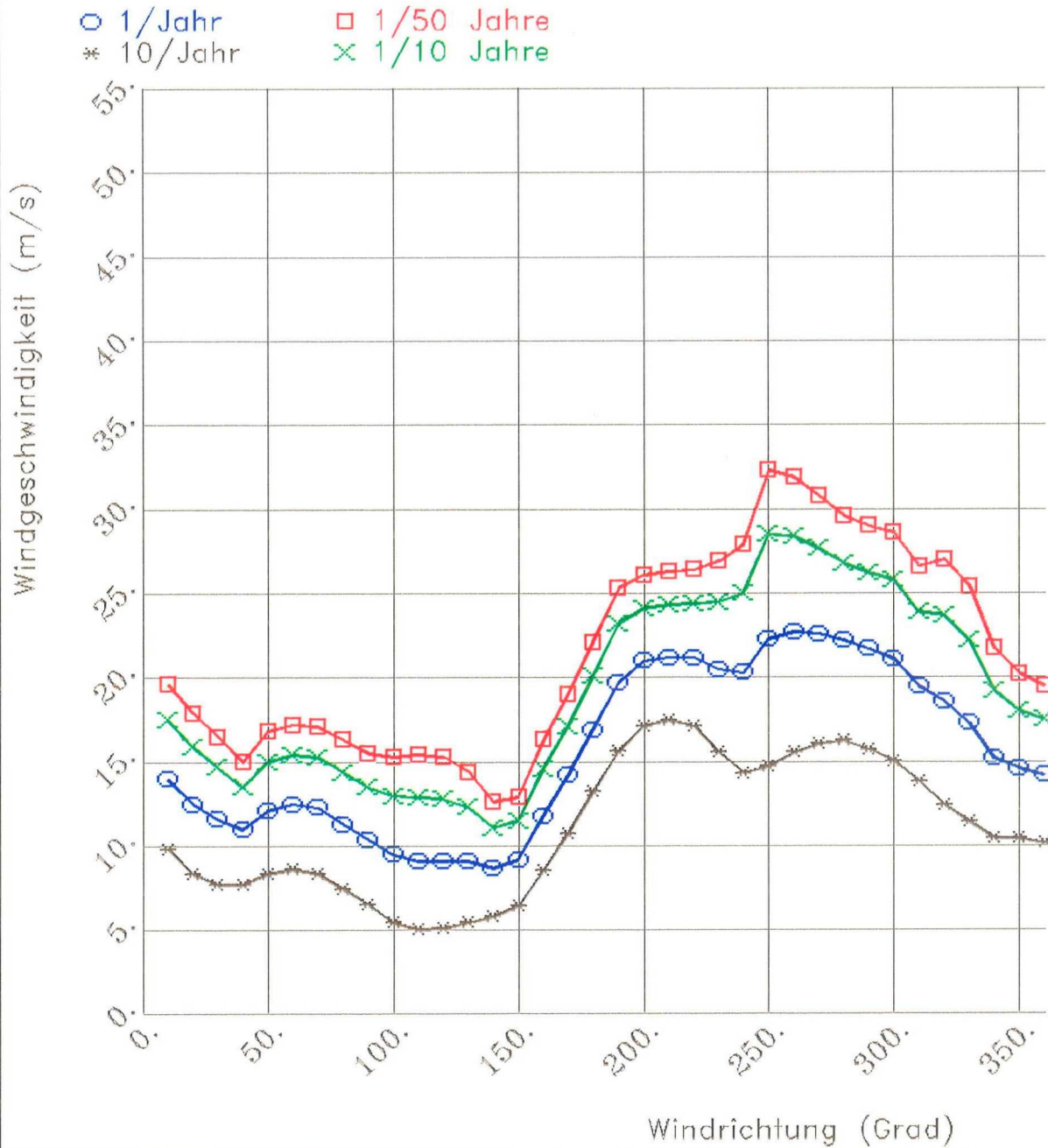
HAMBURG-FU Winter  
 Schwellenwerte der stündlichen Maximalböen  
 in Abhängigkeit von der Windrichtung (30 Grad-Sektoren)  
 für verschiedene jährliche Häufigkeit (s.o.)  
 nur Wintermonate November bis Februar



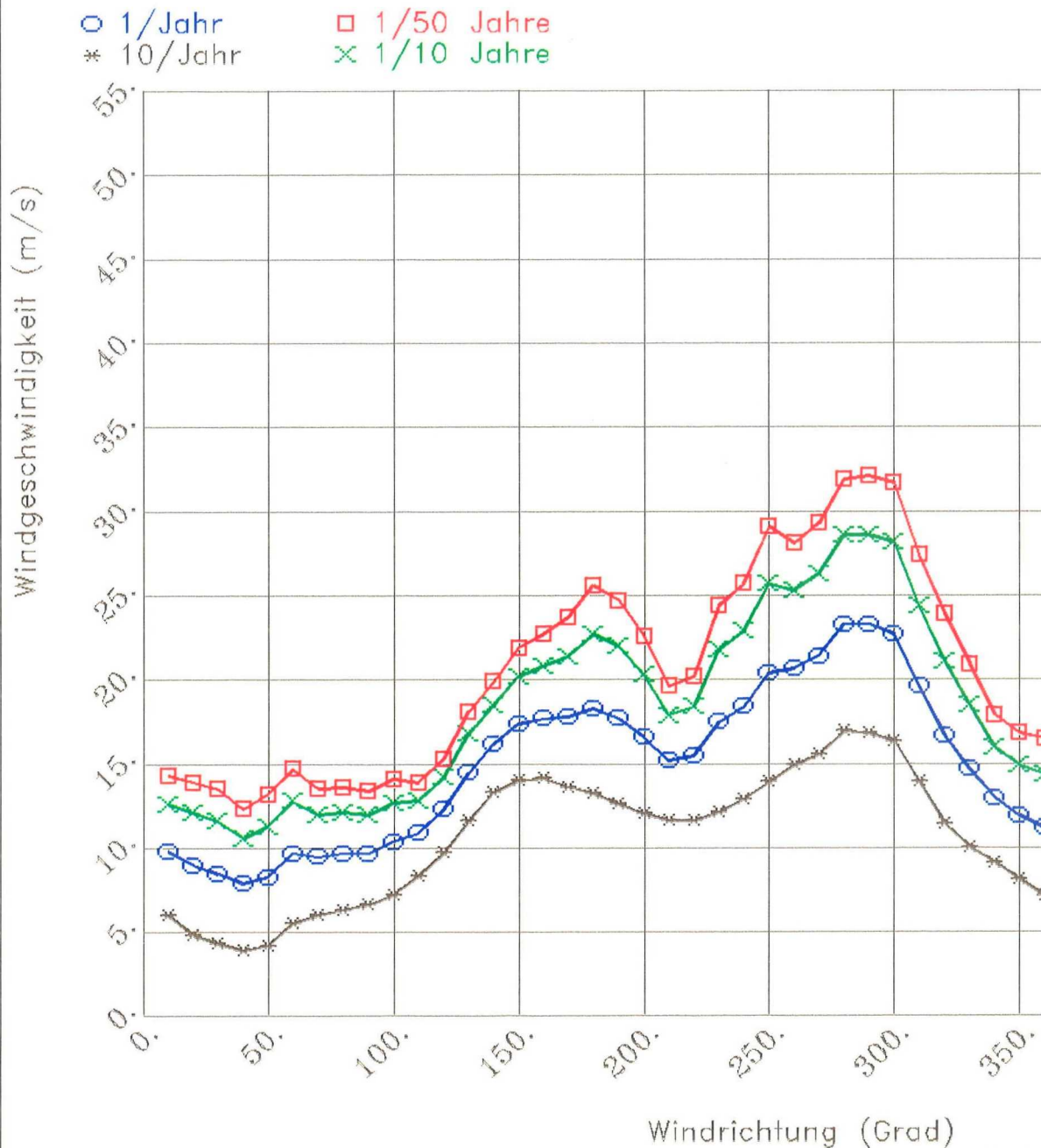
HANNOVER-LA Winter  
Schwellenwerte der stündlichen Maximalböen  
in Abhängigkeit von der Windrichtung (30 Grad-Sektoren)  
für verschiedene jährliche Häufigkeit (s.o.)  
nur Wintermonate November bis Februar



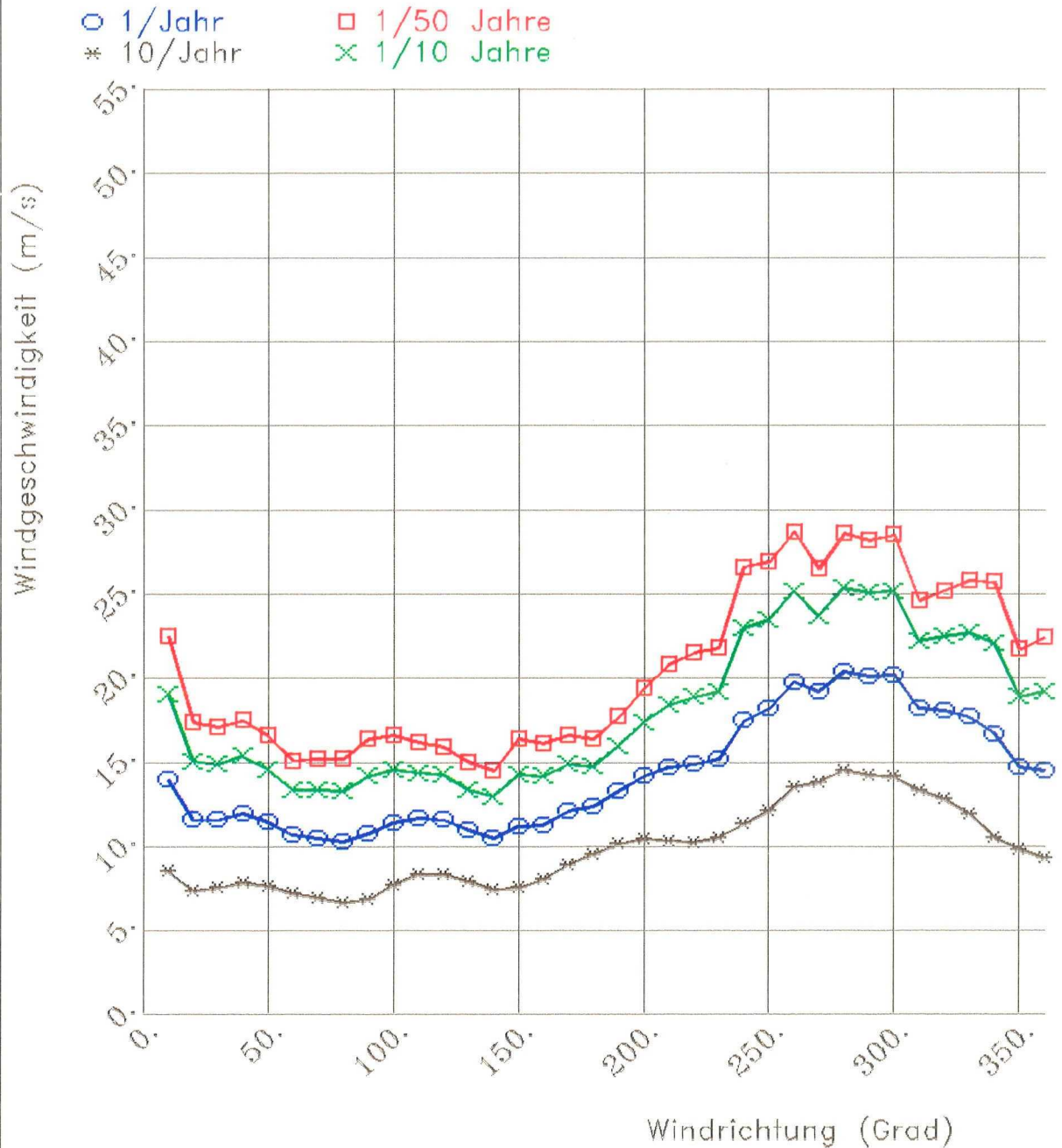
DÜSSELDORF Winter  
Schwellenwerte der stündlichen Maximalböen  
in Abhängigkeit von der Windrichtung (30 Grad-Sektoren)  
für verschiedene jährliche Häufigkeit (s.o.)  
nur Wintermonate November bis Februar



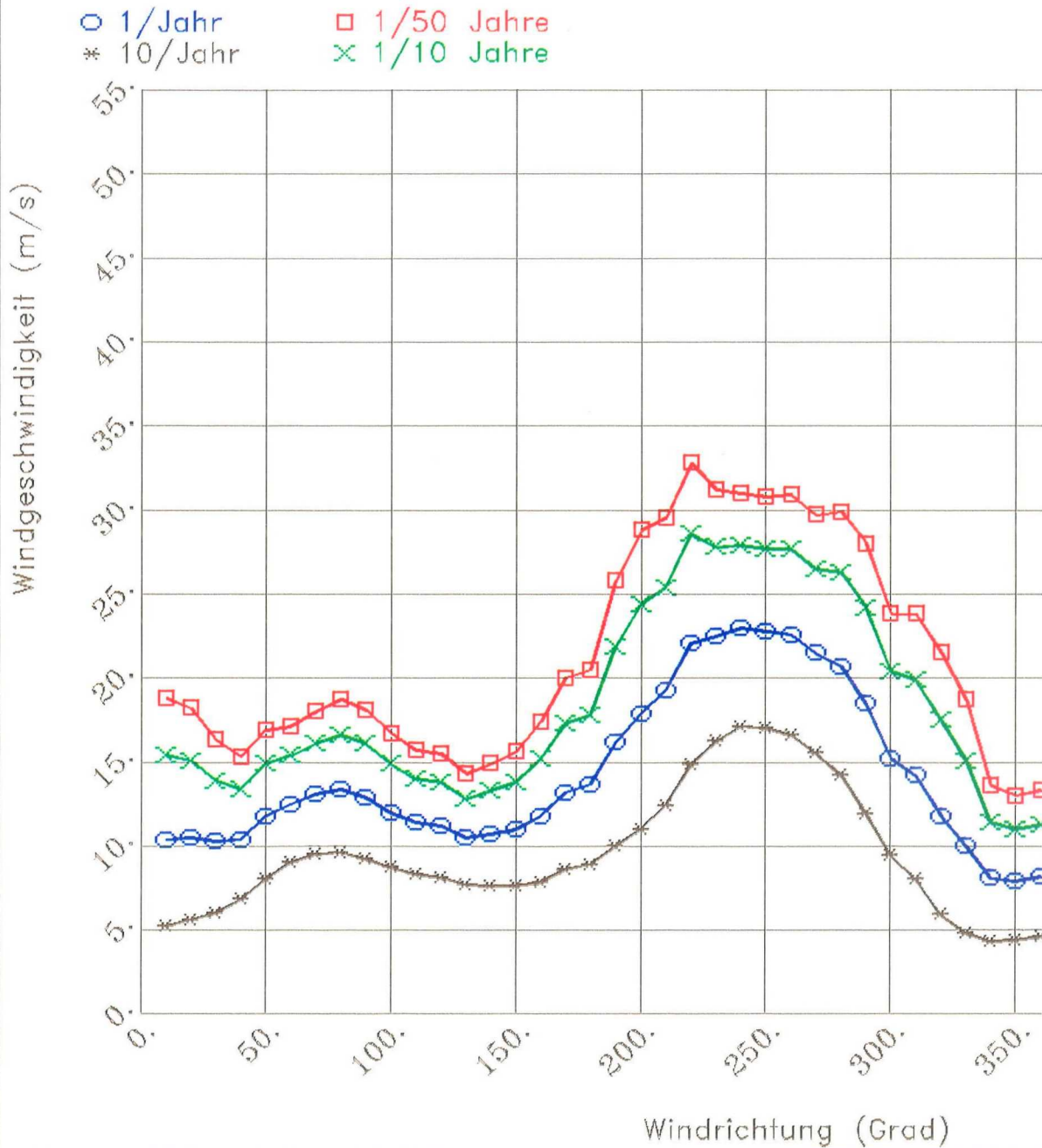
KASSEL Winter  
 Schwellenwerte der stündlichen Maximalböen  
 in Abhängigkeit von der Windrichtung (30 Grad-Sektoren)  
 für verschiedene jährliche Häufigkeit (s.o.)  
 nur Wintermonate November bis Februar



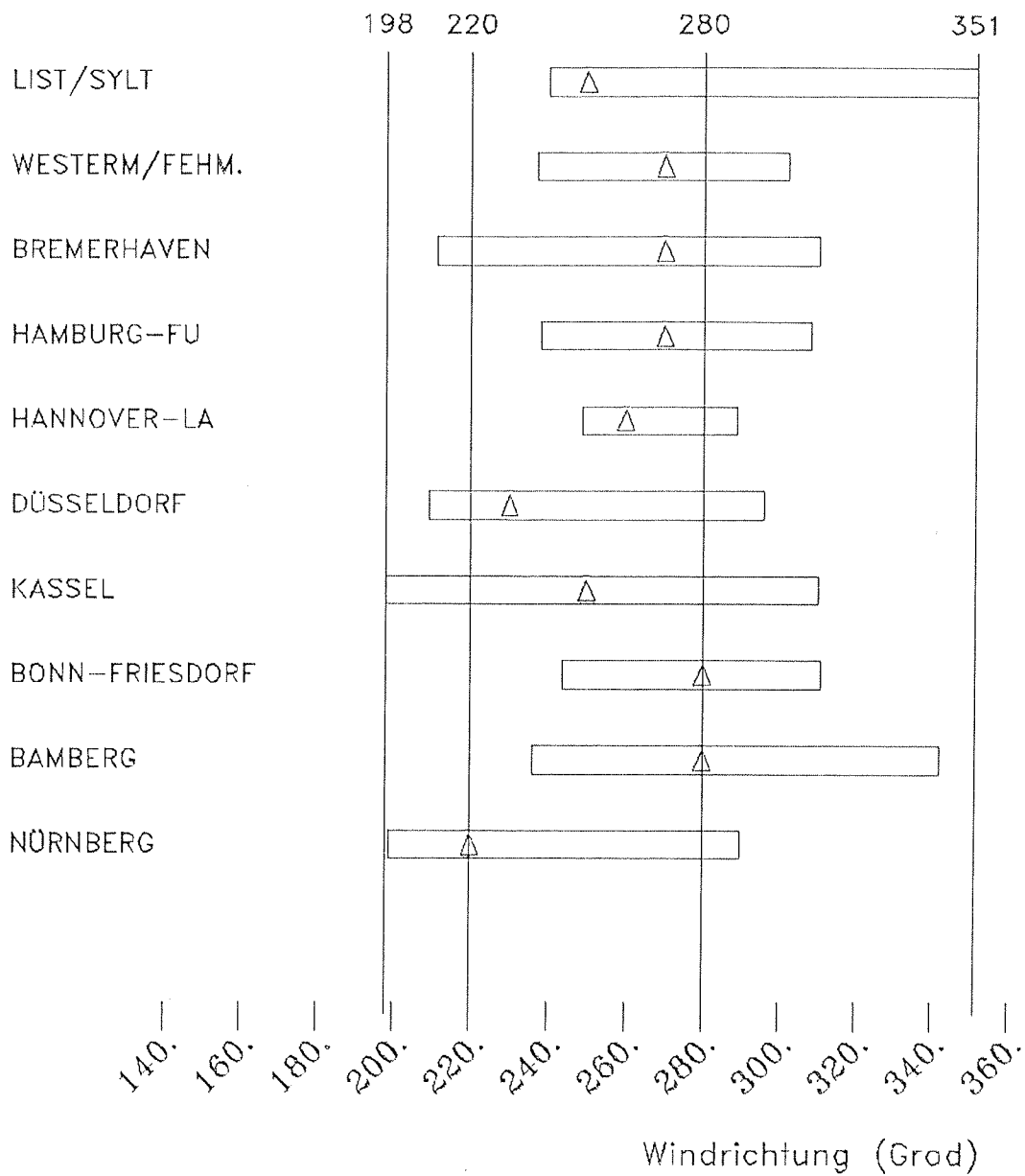
BONN-FRIESDORF Winter  
 Schwellenwerte der stündlichen Maximalböen  
 in Abhängigkeit von der Windrichtung (30 Grad-Sektoren)  
 für verschiedene jährliche Häufigkeit (s.o.)  
 nur Wintermonate November bis Februar



BAMBERG Winter  
 Schwellenwerte der stündlichen Maximalböen  
 in Abhängigkeit von der Windrichtung (30 Grad-Sektoren)  
 für verschiedene jährliche Häufigkeit (s.o.)  
 nur Wintermonate November bis Februar



NÜRNBERG Winter  
 Schwellenwerte der stündlichen Maximalböen  
 in Abhängigkeit von der Windrichtung (30 Grad-Sektoren)  
 für verschiedene jährliche Häufigkeit (s.o.)  
 nur Wintermonate November bis Februar



Lage der Richtungssektoren, in denen die Böen-  
 geschwindigkeit mehr als 84 Proz. des Maximums  
 (bzw. der Staudruck mehr als 70 Proz.) beträgt.  
 Angaben für Böen mit einer mittleren Wieder-  
 kehrperiode von 10 Jahren. Dreieck = Maximum



DEUTSCHER WETTERDIENST  
 -Seewetteramt Hamburg-

HES 88/02/09

Form M2 86/06



Lage der Richtungssektoren, in denen die Böengeschwindigkeit mehr als 84 Proz. des Maximums (bzw. der Staudruck mehr als 70 Proz.) beträgt. Angaben für Böen mit einer mittleren Wiederkehrperiode von 50 Jahren. Dreieck = Maximum

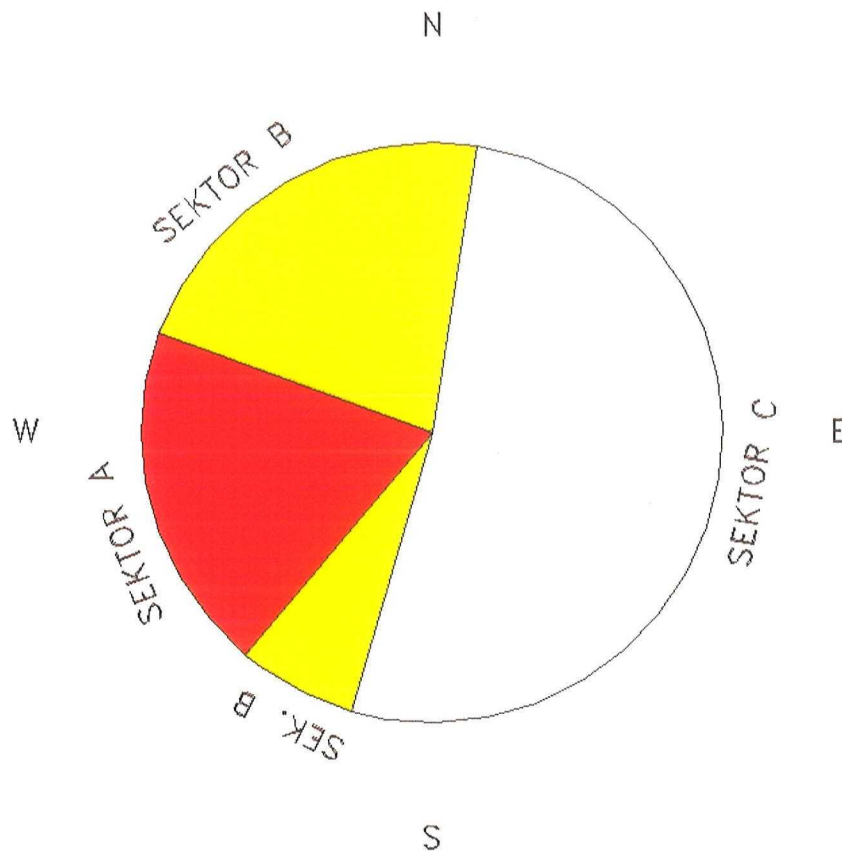


Bild 7 Summarische Darstellung der Richtungsabhängigkeit des Staudrucks  $Q_b$  der 50-Jahres-Böen in Deutschland.

SEKTOR A:  $Q_b = Q_{b,max}$   
In diesem Winkelbereich befinden sich die örtlichen Spitzenwerte der 10 untersuchten Stationen

SEKTOR B:  $0.7 \cdot Q_{b,max} < Q_b < Q_{b,max}$   
In diesen Winkelbereichen ist der Staudruck an mindestens einer Station noch höher als 70% des örtlichen Spitzenwertes.

SEKTOR C:  $Q_b < 0.7 \cdot Q_{b,max}$   
Der Staudruck ist überall unter 70% des Spitzenwertes.