

**KERNFORSCHUNGSZENTRUM**

**KARLSRUHE**

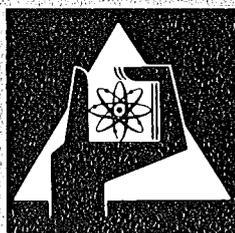
Oktober 1977

KFK 2499

Abteilung Strahlenschutz und Sicherheit  
Projekt Nukleare Sicherheit

**Die Parameter der atmosphärischen Ausbreitung  
in der Umgebung des Kernforschungszentrums  
Karlsruhe**

H. Dilger, W. Hübschmann, D. Nagel, K. Nester, P. Thomas



**GESELLSCHAFT  
FÜR  
KERNFORSCHUNG M.B.H.**

**KARLSRUHE**

Als Manuskript vervielfältigt

Für diesen Bericht behalten wir uns alle Rechte vor

GESELLSCHAFT FÜR KERNFORSCHUNG M. B. H.  
KARLSRUHE

KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE

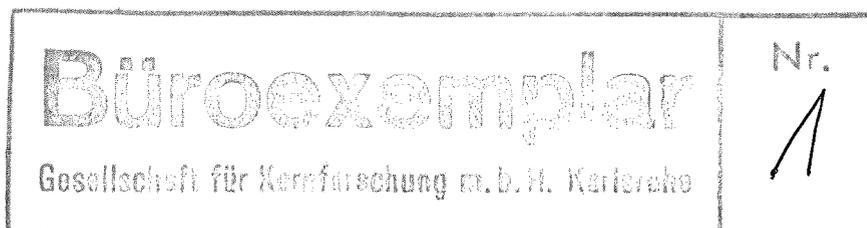
KFK 2499

Abteilung Strahlenschutz und Sicherheit  
Projekt Nukleare Sicherheit

Die Parameter der atmosphärischen Ausbreitung in der Umgebung  
des Kernforschungszentrums Karlsruhe

von

H. Dilger  
W. Hübschmann  
D. Nagel  
K. Nester  
P. Thomas



Gesellschaft für Kernforschung m. b. H., Karlsruhe



## Zusammenfassung

Die in dem 5-Jahres-Zeitraum von 1972 bis 1976 durchgeführten meteorologischen Messungen und Ausbreitungsexperimente des Kernforschungszentrums Karlsruhe (KFZK) wurden ausgewertet und zu einer Datensammlung für Ausbreitungsrechnungen zusammengestellt. Diese enthält die 3-parametrische Ausbreitungsstatistik, geordnet nach Windrichtung, -geschwindigkeit und Ausbreitungskategorie, die zugehörigen mittleren Stufengeschwindigkeiten, die Windprofilexponenten, die Ausbreitungsparameter  $\sigma_y$  und  $\sigma_z$  sowie die mittleren Ausbreitungsfaktoren in den Hauptwindrichtungssektoren für verschiedene Emissionshöhen. Es wird gezeigt, wie die Ausbreitungsfaktoren auch auf andere Standorte gleicher Bodenrauigkeit, aber unterschiedlicher Windrichtungsverteilung angewendet werden können.

The Atmospheric Diffusion Parameters in the Environment of the Karlsruhe Nuclear Research Center

## Summary

The meteorological measurements and atmospheric diffusion experiments performed at the Karlsruhe Nuclear Research Center (KNRC) during the period 1972 through 1976 were evaluated and compiled into a data base for atmospheric diffusion calculations. It contains the 3-parametric diffusion statistics classified by wind direction, wind velocity, and diffusion category, the mean wind velocities referring to the velocity ranges, the wind profile exponents, the diffusion parameters  $\sigma_y$  and  $\sigma_z$ , and the averaged diffusion factors in the main sector for different emission heights. The way is shown in which the calculated normalized concentrations are applicable to different sites having the same surface roughness but a different distribution of wind directions.

## Gliederung

	Seite
1. Einleitung	2
2. Windgeschwindigkeit	2
3. Windrichtung	5
4. Ausbreitungskategorie	5
5. Ausbreitungsstatistik	6
6. Ausbreitungsparameter	8
7. Langzeit-Ausbreitungsfaktor	9
8. Anwendung auf andere Standorte	10
9. Literatur	11

## Tabellen

1	Windgeschwindigkeitstabelle, Meßhöhe $z_M = 60$ m	13
2	Parameter der Ausbreitungskategorien	13
3	Ausbreitungsstatistik 1.12.71 - 30.11.76	14
4	Ausbreitungsstatistik, aufsummiert über alle Windrichtungssektoren	15
5	Ausbreitungsparameter $\sigma_y$ und $\sigma_z$	16

## Abbildungen

1	Windgeschwindigkeitsprofil	17
2	Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeit	18
3	Häufigkeitsverteilung der Ausbreitungskategorien	19
4	Horizontaler Ausbreitungsparameter $\sigma_y(x)$	20
5	Vertikaler Ausbreitungsparameter $\sigma_z(x)$	21
6	Mittlerer Ausbreitungsfaktor $\bar{\chi}(x)$	22

## 1. Einleitung

Im Kernforschungszentrum Karlsruhe (KFZK) ist ein 200 m hoher meteorologischer Meßturm seit 1967 in Betrieb. Die erste veröffentlichte statistische Auswertung umfaßt den Zeitraum 1968/69 und bezieht sich auf die Messung der Windrichtung und -geschwindigkeit /1/. Die Ausbreitungskategorie wurde aus dem Vertikalprofil der Windgeschwindigkeit, welches von 20 bis 200 m Höhe gemessen war, ermittelt. Somit konnte in /1/ die erste Ausbreitungsstatistik des KFZK publiziert werden. Sie umfaßte allerdings nur den Zeitraum zweier Jahre. Sie wurde in einem internen Bericht /2/ auf einen Drei-Jahres-Zeitraum (1968-70) erweitert.

Im Jahre 1971 wurde die Instrumentierung des Meßturms erweitert, verbessert und auf elektronische Datenerfassung umgestellt /3/, /4/, /5/. Seit Ende 1971 liegen die erweiterten Meßdatensätze vollständig mit hoher Genauigkeit vor. Die Ausbreitungskategorie wird auf optimale Weise mithilfe einer Vektorfahne bestimmt. Aus den Messungen der Jahre 1972 bis 1976 konnte daher eine 5-jährige Ausbreitungsstatistik erstellt werden. Diese wird im vorliegenden Bericht, ergänzt durch die gleichzeitig in Ausbreitungsexperimenten ermittelten Ausbreitungsparameter  $\sigma_y$  und  $\sigma_z$ , sodaß mit diesen Angaben Ausbreitungsrechnungen für die Umgebung des KFZK oder ähnliche Standorte durchgeführt werden können. Für einzelne Emissionshöhen sind die mittleren Langzeit-Ausbreitungsfaktoren bereits angegeben.

Es wird betont, daß alle hier zusammengestellten Parameter im gleichen Zeitraum und am gleichen Ort zuverlässig ermittelt worden sind, sodaß die damit durchgeführten Ausbreitungsrechnungen ebenfalls eine entsprechende Zuverlässigkeit beanspruchen können. Insbesondere konnte auf bisher übliche, indirekte Verfahren (z.B. Windgeschwindigkeit in zu niedriger Höhe gemessen, Windprofilexponent über anderem Gelände bestimmt, Ausbreitungskategorie aus Hilfsgrößen bestimmt) verzichtet werden.

## 2. Windgeschwindigkeit

Die Windgeschwindigkeit wird am Meßturm des KFZK in 10 verschiedenen Höhen gemessen. Es handelt sich also um eine Messung des Vertikalprofils der Wind-

geschwindigkeit bis zur Höhe von 200 m. Die Einzelmessungen wurden durch eine Potenzfunktion Gleichung (1) approximiert, s. Abbildung 1.

$$(1) \quad u_j(z) = u_M \left( \frac{z-d}{z_M-d} \right)^{p_j}$$

$z_M$  Meßhöhe in m,

$d$  Höhe des Störniveaus in m,

$u_M$  in  $z_M$  gemessene Windgeschwindigkeit in m/s,

$p_j$  mittlerer Windprofilexponent der Ausbreitungskategorie j.

Die Höhe des Störniveaus  $d$  wurde aus den gemessenen Windprofilen bestimmt und betrug in der Umgebung des Meßturms (Waldgebiet) während der ausgewerteten 5-Jahres-Spanne  $d = 10$  m.

Die mittleren Exponenten  $p_j$  des Windgeschwindigkeitsprofils sind für die 6 Ausbreitungskategorien in Tabelle 2 angegeben. Sie wurden aus den in den Jahren 1973 und '74 gemessenen Vertikalprofilen berechnet. Der umfangreiche Rechenaufwand zur Auswertung des gesamten 5-Jahres-Zeitraum erschien in Anbetracht der relativ geringen Abweichungen von anderen derartigen Datensätzen, z. B. /12/, nicht gerechtfertigt.

Aus den verschiedenen Meßhöhen ist diejenige auszuwählen, deren Meßwerte bei Ausbreitungsrechnungen verwendet werden sollen. Dabei ist es wichtig, daß diese Windgeschwindigkeit mit derjenigen übereinstimmt, welche bei der Auswertung von Ausbreitungsversuchen als Ausbreitungsgeschwindigkeit eingesetzt wird. Für die Auswahl der Meßhöhe der Windgeschwindigkeit gelten folgende Überlegungen:

Im Bereich maximaler Schadstoffkonzentrationen in Bodennähe trägt vornehmlich die bodennahe Luftschicht bis zur Emissionshöhe zu ebendiesen Konzentrationen bei. Daher wurde bei der experimentellen Bestimmung der Ausbreitungsrechnung die bis zur Emissionshöhe gemittelte Windgeschwindigkeit verwendet. Die Mittlung ist für die Windgeschwindigkeitsstufe  $k$  in Gleichung (2) und (2a) durchgeführt.

$$(2) \quad \bar{u}_{jk} = \frac{1}{(H-d)} \int_d^H u_{Mk} \left( \frac{z-d}{z_M-d} \right)^{p_j} dz$$

$$(2a) \quad \bar{u}_{jk} = \frac{u_{Mk}}{p_j+1} \left( \frac{H-d}{z_M-d} \right)^{p_j}$$

H Höhe der Abluftfahnenachse über Grund in m.

Als Meßhöhe für die Windgeschwindigkeitswerte der Ausbreitungsstatistik wurde

$$z_M = 60 \text{ m}$$

gewählt. Diese Wahl bietet folgende Vorteile:

1. Das Meßgerät liegt genügend hoch über dem Störniveau, um nicht zu stark den örtlichen Störungen zu unterliegen.
2. Der Kalmenanteil ( $\bar{u} \leq 0,5 \text{ m/s}$ ) ist äußerst gering (insgesamt nur 0,56 %, siehe Tabelle 4), während er in der üblichen Meßhöhe von 10 m häufig unangemessen hoch ausfällt.
3. Die gemessene Windgeschwindigkeit entspricht bei einer effektiven Emissionshöhe von  $H_{\text{eff}} = 100 \text{ m}$  ( $H_{\text{eff}} = H - d$ ) ziemlich genau der nach Gleichung (2a) gemittelten. Dadurch bleibt der Fehler, der durch die Approximation des Windprofils mithilfe einer Potenzfunktion (Gleichung (1)) eingeführt wird, zumindest bei dieser Emissionshöhe minimal.

Die gemessenen Windgeschwindigkeiten wurden zu Stundenmittelwerten zusammengefaßt. Diese werden in 8 Windgeschwindigkeitsstufen (Index k) eingeteilt, siehe Tabelle 1. Die Stufenbreite ist so gewählt, daß ein durch diese Stufung induzierter Fehler vernachlässigbar bleibt, die Anzahl der Stufen aber möglichst klein ist. Dabei ist berücksichtigt, daß niedrige Windgeschwindigkeiten einen stärkeren Einfluß auf das Ergebnis einer Ausbrei-

tungsrechnung haben als hohe.

Aus den Stundenmittelwerten wurde innerhalb jeder Windgeschwindigkeitsstufe die mittlere Stufengeschwindigkeit berechnet. Tabelle 1 enthält sowohl die linear gemittelte als auch die reziprok gemittelte Stufengeschwindigkeit. Die Schadstoffkonzentration ist dem Kehrwert der Windgeschwindigkeit proportional. Deshalb ist in einer Ausbreitungsrechnung die reziprok gemittelte Stufengeschwindigkeit zu verwenden. In den beiden untersten Windgeschwindigkeitsstufen (0 - 0,5 m/s und 0,6 - 1,0 m/s) führt die Verwendung einer mittleren Stufengeschwindigkeit wegen der stets vorhandenen turbulenten Diffusion und wegen der bei niedriger Windgeschwindigkeit meist besonders starken Windrichtungsschwankungen zu einer Überschätzung der Schadstoffkonzentration. Daher wird vorgeschlagen, in diesen beiden Windgeschwindigkeitsstufen eine Mindestgeschwindigkeit von 1 m/s als repräsentative Ausbreitungsgeschwindigkeit zu verwenden (letzte Spalte in Tabelle 1).

### 3. Windrichtung

Die Meßhöhe der für Ausbreitungsrechnungen repräsentativen Windrichtung ist dieselbe wie die der Windgeschwindigkeit, nämlich 60 m. Die Ausbreitungsrichtung ist der Windrichtung entgegengesetzt. Die Wahl der Meßhöhe in 60 m hat sich auch bei der Auswertung der Ausbreitungsexperimente bewährt, denn die in dieser Höhe gemessene Windrichtung stimmt am besten mit der im Experiment gefundenen Ausbreitungsrichtung überein. Diese Übereinstimmung kann als eine weitere Bestätigung der Windgeschwindigkeitsintegration bis zur effektiven Emissionshöhe angesehen werden, s. Kapitel 2.

Für Quellhöhen oberhalb 100 m liegt die repräsentative Windrichtung wahrscheinlich über 60 m.

### 4. Ausbreitungskategorie

Die Ausbreitungskategorie wird aus der Streuung  $\sigma_\phi$  der vertikalen Windrichtungsfluktuation bestimmt. Das Bestimmungsschema zeigt Tabelle 2.  $\sigma_\phi$  wird mit einer in 100 m Höhe montierten Vektorfahne gemessen.

Dieses Bestimmungsschema ist anderen Einteilungsschemata insofern überlegen, als es einen Parameter benutzt, welcher den Turbulenzzustand der Atmosphäre direkt beschreibt.

Bei einem Ausfall der Vektorfahne wird die Streuung  $\sigma_{\theta}$  der horizontalen Windrichtungsfluktuation einer Schwertwindfahne in 100 m Höhe zur Bestimmung der Ausbreitungskategorie benutzt, siehe Tabelle 2. Auch dieses Verfahren ist verlässlich und gehört zu den direkten Verfahren.

Die Zuordnung in Tabelle 2 weicht etwas von der in /6/ bzw. /7/ angegebenen ab. Die Verschiebungen ergeben sich aus dem längeren Beobachtungszeitraum.

Andere, indirekte Bestimmungsverfahren führen demgegenüber zu mehr oder weniger starken Abweichungen, siehe /6/.

Diese Abweichungen gleichen sich zwar im statistischen Mittel z.T. aus; im Einzelfall ist jedoch ein zuverlässigeres Verfahren erforderlich, wenn nicht häufig Fehler in der Kategorienbestimmung in Kauf genommen werden sollen. Um solche Einzelfälle, bei denen eine zuverlässige Kategorienbestimmung notwendig ist, handelt es sich bei den Ausbreitungsversuchen, siehe Kapitel 6. Es wird betont, daß die zu einem Ausbreitungsversuch gehörige Ausbreitungskategorie stets entsprechend der Streuung  $\sigma_{\phi}$  der vertikalen Windrichtungsfluktuation, bestimmt wurde, wie es auch der Ausbreitungsstatistik zugrunde liegt.

## 5. Ausbreitungsstatistik

Aus den Stundenmittelwerten der Windrichtung, der -geschwindigkeit und der Ausbreitungskategorie wird die Ausbreitungsstatistik berechnet. Die Windrose wird in 12 Windrichtungssektoren je  $30^{\circ}$  eingeteilt. Diese Sektoren werden nach der Richtung ihrer Mittellinie benannt und von 1 bis 12 durchnummeriert. Sektor 12 ( $360^{\circ}$ ) liegt symmetrisch zur Nordrichtung, erstreckt sich also von  $345^{\circ}$  bis  $15^{\circ}$ .

Tabelle 3 enthält die auf eine Windrichtungshäufigkeit des einzelnen Sektors von 100 % bezogene Häufigkeit der Kombination Windgeschwindigkeitsstufe/Ausbreitungskategorie. Die aktuelle Häufigkeit erhält man durch Multiplikation mit der Windrichtungshäufigkeit des betreffenden Sektors.

Beispiel: Im Windrichtungssektor Nr. 7 ( $210^{\circ}$ ) trat die Kombination der Windgeschwindigkeit von 4,1 bis 8,0 m/s mit der Ausbreitungskategorie D insgesamt in

$$30,49 \cdot \frac{19,87}{100} \% = 6,06 \%$$

aller Fälle auf.

In den Abbildungen 2 bzw. 3 sind die Häufigkeiten der Windgeschwindigkeitsstufen bzw. der Ausbreitungskategorien, jeweils auf 100 % Gesamthäufigkeit bezogen, aufgetragen. Es ist zu beachten, daß die Ausbreitungsrichtung der Windrichtung entgegengesetzt ist. Die Hauptbeaufschlagungssektoren sind also die Sektoren  $30^{\circ}$ ,  $60^{\circ}$  (Hauptmaximum) und  $240^{\circ}$  (Nebenmaximum). Windgeschwindigkeiten (Stundenmittel) über 8 m/s wurden während der Kategorie A nicht, während der Kategorien B und F nur in seltenen Fällen gemessen.

Die Häufigkeiten, aufsummiert über alle Sektoren, enthält Tabelle 4. Sie zeigt, daß Stundenmittel der Windgeschwindigkeit bis zu 1 m/s in nur 2,81 % aller Fälle gemessen wurden.

Bei einem Vergleich mit der Ausbreitungsstatistik der Jahre 1968/69 /1/ fällt auf, daß die Hauptwindrichtung der 5-Jahresstatistik etwas südlicher liegt als diejenige der 2-Jahresstatistik, erkennbar daran, daß der  $210^{\circ}$ - und der  $240^{\circ}$ -Sektor etwa gleich beaufschlagt sind, während früher die Windrichtung deutlich häufiger im  $240^{\circ}$ -Sektor lag. Auch beim Nebenmaximum im  $60^{\circ}$ -Sektor ist eine geringfügige Linksdrehung gegenüber der früheren Statistik zu bemerken.

Die Verteilung der Windgeschwindigkeit auf die einzelnen Stufen (rechte Spalte in Tabelle 4) ist bis auf  $\pm 2$  % (bezogen auf 100 % Gesamthäufigkeit) gleich der früheren Verteilung. Ungefähr 80 % der Stundenmittel der Windgeschwindigkeit liegen zwischen 2 und 8 m/s. In der 5-Jahresstatistik treten die Kategorien E und F etwas seltener, die Kategorie D etwas häufiger als in der 2-Jahresstatistik auf. Die Unterschiede betragen mit Ausnahme der Kategorie E höchstens  $\pm 2$  % (bezogen auf die Gesamthäufigkeit), obwohl die Einteilung der Ausbreitungskategorien bei der 2-Jahresstatistik nach dem Windprofilexponenten vorgenommen worden war.

## 6. Ausbreitungsparameter

Die Ausbreitungsparameter  $\sigma_y(x)$  und  $\sigma_z(x)$  wurden während des Auswertzeitraumes durch Ausbreitungsexperimente im Umkreis des KFZK bestimmt, siehe /8/ und /9/. Als Leitsubstanzen wurden tritierter Wasserdampf und halogenierte Kohlenwasserstoffe vom Meßturm oder über einen Kamin in die Atmosphäre emittiert. Die Emissionshöhen betragen 60 und 100 m. Zur Bestimmung der Ausbreitungsparameter wird angenommen, daß sich deren Entfernungsabhängigkeit durch die Potenzansätze Gleichung (3) und (4) ausdrücken läßt, und daß sich die Konzentrationsverteilung in Bodennähe durch eine doppelte Gaußverteilung mit totaler Reflexion am Boden annähern läßt, siehe Gleichung (5).

$$(3) \quad \sigma_y(x) = \left( \sigma_t^2 + \sigma_{y0}^2 x^{2p_y} \right)^{\frac{1}{2}}$$

$$(4) \quad \sigma_z(x) = \sigma_{z0} x^{p_z}$$

$$(5) \quad C(x, y, z=0) = \frac{\dot{A}}{\bar{u}} \frac{1}{\pi \sigma_y(x) \sigma_z(x)} \exp - \frac{y^2}{2 \sigma_y^2} \exp - \frac{H_{eff}^2}{2 \sigma_z^2}$$

$C(x, y, z=0)$  Schadstoffkonzentration am Böden, z.B. in  $\text{Ci/m}^3$   
 $x, y, z$  Koordinaten in axialer, lateraler und vertikaler Richtung  
 $\dot{A}$  Quellstärke, z.B. in  $\text{Ci/s}$   
 $H_{eff}$  effektive Emissionshöhe in m

Die Koeffizienten  $\sigma_{z0}$  und  $p_z$  sowie die Koeffizienten  $\sigma_{y0}$  und  $p_y$  eines einfachen Potenzansatzes (analog zu Gleichung (4), ohne  $\sigma_t^2$ ) wurden durch Approximation der Gleichung (5) an die gemessenen Konzentrationen nach der Methode der kleinsten Fehlerquadrate bestimmt.

Der konstante Term  $\sigma_t^2$  berücksichtigt den Einfluß der Topographie, der in der Nähe der Quelle und bei großer Rauigkeit spürbar ist. Die Koeffizienten  $\sigma_{y0}$  und  $p_y$  wurden so bestimmt, daß  $\sigma_y$  im Bereich des Konzentrationsmaximums in Bo-

dennähe mit dem des einfachen Potenzansatzes übereinstimmt. Das Verfahren ist in /10/ beschrieben. Die Koeffizienten sind in Tabelle 5 zusammengestellt; die Kurven sind in Abbildungen 4 und 5 dargestellt. Sie sind gültig für eine in der Umgebung des KFZK anzutreffende Rauhlängslänge  $z_0 = 1,5$  m (Rauhlängsstufe III, Wald und hohe Gebäude). Sollen Ausbreitungsrechnungen für die Rauhlängsstufen I ( $z_0 = 0,01$  m) oder II ( $z_0 = 0,3$  m) durchgeführt werden, so können die zugehörigen Ausbreitungsparameter /10/ entnommen werden.

### 7. Langzeit-Ausbreitungsfaktor

Mit den oben angegebenen Parametern der atmosphärischen Ausbreitung kann der Langzeit-Ausbreitungsfaktor für die Umgebung des Kernforschungszentrums Karlsruhe berechnet werden, siehe die vereinfachte Gleichung (6).

$$(6) \quad \bar{\chi}_i(x) = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{1}{\Delta\phi x} \left\{ \frac{\exp - \frac{H_{eff}^2}{2 \sigma_{zj}^2}}{\sigma_{zj}(x)} \sum_{j=1}^6 \frac{f_{ijk}}{\bar{u}_k} \right\}$$

$\bar{\chi}_i(x)$  mittlerer Ausbreitungsfaktor im i-ten Sektor in  $s/m^3$

$\Delta\phi = 30^\circ$  Sektor-Öffnungswinkel

Dieser Langzeit-Ausbreitungsfaktor wurde mithilfe des Computer-Programms ISOLA-II /11/ in den Hauptausbreitungssektoren für verschiedene Emissionshöhen berechnet, siehe Abbildung 6. In diesem Programm wird eine Windrichtungs-gleichverteilung in jedem Sektor angenommen und im Unterschied zu Gleichung (6) der Einfluß eines Sektors auf seine Nachbarsektoren berücksichtigt. Dieser Einfluß ist vor allem nahe der Sektorgrenze von Bedeutung. Die Ausbreitungssektoren liegen den Windrichtungssektoren gegenüber. Der Ausbreitungssektor Nr. 2 ( $60^\circ$ ) entspricht also dem Windrichtungssektor Nr. 8 ( $240^\circ$ ). In diesem Sektor sind die höchsten Maxima des Ausbreitungsfaktors zu finden, bedingt durch die große Häufigkeit der Kategorie D. Der Ausbreitungssektor Nr. 1 ( $30^\circ$ ), der Sektor mit der größten Windrichtungshäufigkeit, nämlich knapp 20 %, weist dagegen erst jenseits des Maximums die höheren Ausbreitungsfaktoren auf. Diesseits des Maximums wiederum ist es der Sektor Nr. 8 ( $240^\circ$ ), welcher die höheren Ausbreitungs-

faktoren liefert, jeweils verglichen mit dem Ausbreitungsfaktor des Sektors Nr. 2.

Die Kurven für die Emissionshöhen 150 m und 200 m sind vorläufigen Charakters. Da der Einfluß der Bodenrauigkeit mit der Höhe abnimmt, ist zu erwarten, daß für diese Emissionshöhen kleinere Ausbreitungsparameter ( $\sigma_y$  und  $\sigma_z$ ) gefunden werden. Dadurch werden die Maxima des Ausbreitungsfaktors in Abbildung 6 verringert werden.

#### 8. Anwendung auf andere Standorte

Die angegebenen Parameter und Kurven gelten für die Rauigkeitslänge  $z_0 = 1,5$  m (Wald, Gebäude). Sie können auch auf Standorte mit gleicher Bodenrauigkeit und ähnlicher Ausbreitungsklimatologie, aber unterschiedlicher Windrichtungsverteilung angewendet werden. Beträgt die Sektorbreite am Standort B  $\Delta\phi_B$  und die Windrichtungshäufigkeit des Sektors Nr. n  $f_{Bn}$ , dann ist der mittlere Langzeit-Ausbreitungsfaktor  $\bar{x}_{Bn}$  nach Gleichung (7) umzurechnen. Diese Umrechnung ist nur für die Haupt-Windrichtungssektoren gültig.

$$(7) \quad \bar{x}_{Bn}(x) = \frac{30^0}{\Delta\phi_B} \frac{f_{Bn}}{f_i} \bar{x}_i(x)$$

$$i = 1,2,8$$

Für Standorte mit geringerer Bodenrauigkeit ergeben sich niedrigere Maxima des Ausbreitungsfaktors: In der Rauigkeitsstufe II ( $z_0 = 0,3$  m) verringern sich die Maxima um mehr als den Faktor 1,5, in der Rauigkeitsstufe I ( $z_0 = 0,01$  m) um mehr als den Faktor 2,5.

## 9. Literatur

- /1/ K. Nester;  
Statistische Auswertungen der Windmessungen im Kernforschungszentrum Karlsruhe aus den Jahren 1968/69. KFK 1606, 1972
- /2/ K. Nester;  
Ausbreitungsstatistik der Jahre 1968, 1969 und 1970.  
(unveröffentlicht, 1973)
- /3/ W. Hübschmann, L. Kropp, H. Lenhardt, K. Nester, J. Ottens;  
Digitale Datenerfassung meteorologischer Meßwerte.  
Staub-Reinhaltung der Luft 33, 245-248 (1973)
- /4/ H. Dilger;  
Das meteorologische Meßsystem des Kernforschungszentrums Karlsruhe.  
KFK 2347, 1976
- /5/ F. Süß; P. Thomas;  
On-line Datenerfassung und Datenaufbereitung in einer Kopplung  
meteorologischer Turm - PDP-8/I-CALAS-System.  
KFK 1934, 1974
- /6/ H. Dilger, K. Nester;  
Aufstellung und Vergleich verschiedener Schemata zur Bestimmung der  
Ausbreitungskategorien.  
Meteorologische Rundschau 28, 12-17 (1975)
- /7/ H. Dilger, K. Nester, S. Vogt;  
Auswertung meteorologischer Messungen, Kapitel 6.1 in Jahresbericht  
1975 der Abteilung Strahlenschutz und Sicherheit, KFK 2266, 1976
- /8/ P. Thomas et al.;  
Experimental Determination of the Atmospheric Dispersion Parameters  
over Rough Terrain. Part 1, Measurements at the Karlsruhe Nuclear  
Research Center. KFK 2285, Juli 1976

/9/ P. Thomas, K. Nester;

Experimental Determination of the Atmospheric Dispersion Parameters  
over Rough Terrain. Part 2, Evaluation of Measurements.

KFK 2286, Juni 1976

/10/ K. Nester, W. G. Hübschmann, P. Thomas;

The Influence of Ground Roughness on Atmospheric Diffusion.

The 4th International Clean Air Congress, Tokyo, 16-20 May 1977

/11/ W. Hübschmann, D. Nagel;

ISOLA II - Ein FORTAN-IV-Programm zur Berechnung der langfristigen  
Dosisverteilung in der Umgebung kerntechnischer Anlagen.

KFK 2210, 1975

/12/ G. Manier;

Meteorologische Rundschau (1968), 43-46

Tabelle 1 Windgeschwindigkeitstabelle, Meßhöhe  $z_M = 60$  m

Windgeschwindigkeitsstufe in m/s	mittlere Stufengeschwindigkeit linear gemittelt in m/s	reziprok gemittelt in m/s	repräsentative Ausbreitungsgeschwindigkeit $u_{Mk}$ in m/s
0 - 0,5	0,27	0,25	1,0
0,6 - 1,0	0,74	0,71	1,0
1,1 - 1,5	1,22	1,21	1,21
1,6 - 2,0	1,72	1,71	1,71
2,1 - 4,0	3,00	2,90	2,90
4,1 - 8,0	5,31	5,15	5,15
8,1 - 15,0	9,45	9,28	9,28
> 15,0	15,98	15,93	15,93

Tabelle 2 Parameter der Ausbreitungskategorien

Ausbreitungskategorie	Streuung $\sigma_\phi$ der vertikalen Wind- richtungs- fluktuation $\sigma_\phi$ in Grad	Streuung $\sigma_\theta$ der horizontalen Windrichtungs- fluktuation $\sigma_\theta$ in Grad	mittlerer Ex- ponent p des Windgeschwindig- keitsprofils
A, sehr labil	> 15	> 29,0	0,07
B, mäßig labil	11,1 - 15,0	20,1 - 29,0	0,13
C, schwach labil	7,6 - 11,0	12,5 - 20,0	0,21
D, neutral	3,6 - 7,5	6,7 - 12,4	0,34
E, schwach stabil	2,1 - 3,5	5,0 - 6,6	} 0,44
F, stabil	$\leq$ 2,0	$\leq$ 4,9	

Meßhöhe für  $\sigma_\phi$  und  $\sigma_\theta$  100 m

Tabelle 3 Ausbreitungsstatistik 1.12.1971 - 30.11.1976

Windgeschwindigkeitsstufe (Messhöhe 60 m) in m/s	Ausbreitungskategorie							Ausbreitungskategorie									
	A	B	C	D	E	F	Summe	A	B	C	D	E	F	Summe			
	Windrichtungssektor (Nr. und Richtung)				Windrichtungshäufigkeit			Windrichtungssektor (Nr. und Richtung)				Windrichtungshäufigkeit					
	1.	30°					7,68 %										19,87 %
0.0- 0.5	0.0	0.03	0.06	0.10	0.16	0.06	0.42	0.02	0.04	0.07	0.04	0.0	0.06	0.23			
0.6- 1.0	0.29	0.10	0.22	0.64	0.42	0.74	2.40	0.07	0.11	0.15	0.20	0.09	0.42	1.04			
1.1- 1.5	0.35	0.58	0.96	2.02	1.18	0.54	5.63	0.11	0.19	0.38	0.59	0.25	0.41	1.93			
1.6- 2.0	0.48	0.74	1.44	3.30	1.92	1.18	9.06	0.10	0.28	0.45	0.87	0.41	0.67	2.77			
2.1- 4.0	1.25	4.32	8.10	18.62	13.02	11.33	56.64	0.28	1.03	2.83	8.90	6.57	8.75	28.37			
4.1- 8.0	0.03	0.54	4.16	12.80	4.74	3.33	25.60	0.0	0.23	4.24	30.49	12.29	12.08	59.34			
8.1-15.0	0.0	0.0	0.16	0.10	0.0	0.0	0.26	0.0	0.0	0.62	5.54	0.10	0.04	6.29			
15.1-30.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.02	0.0	0.0	0.0	0.02			
SUMME	2.40	6.30	15.10	37.57	21.44	17.18	100.00	0.59	1.88	8.77	46.63	19.70	22.43	100.00			
	2.	60°					17,29 %										18,80 %
0.0- 0.5	0.03	0.01	0.07	0.20	0.0	0.13	0.44	0.04	0.04	0.05	0.03	0.03	0.03	0.21			
0.6- 1.0	0.16	0.09	0.24	0.34	0.24	0.30	1.36	0.05	0.07	0.16	0.24	0.13	0.25	0.89			
1.1- 1.5	0.37	0.26	0.58	1.08	0.60	0.55	3.44	0.14	0.16	0.35	0.63	0.33	0.31	1.92			
1.6- 2.0	0.37	0.41	1.01	1.54	1.01	0.77	5.10	0.22	0.25	0.38	0.67	0.52	0.47	2.51			
2.1- 4.0	1.32	4.49	6.75	13.86	10.65	6.10	43.17	0.80	2.23	3.16	7.64	5.03	4.30	23.17			
4.1- 8.0	0.16	4.09	11.73	17.84	6.91	4.85	45.57	0.05	0.90	8.56	39.71	6.51	2.61	58.34			
8.1-15.0	0.0	0.0	0.24	0.67	0.0	0.0	0.91	0.0	0.0	0.47	12.40	0.05	0.0	12.92			
15.1-30.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.04	0.0	0.0	0.04			
SUMME	2.40	9.35	20.63	35.52	19.40	12.69	100.00	1.31	3.65	13.13	61.35	12.60	7.97	100.00			
	3.	90°					6,78 %										5,42 %
0.0- 0.5	0.07	0.0	0.14	0.11	0.07	0.07	0.47	0.09	0.0	0.32	0.09	0.09	0.14	0.72			
0.6- 1.0	0.29	0.36	0.47	0.98	0.43	0.62	3.15	0.14	0.23	0.32	0.63	0.45	0.82	2.58			
1.1- 1.5	0.58	1.05	1.05	1.88	1.23	1.34	7.14	0.91	0.32	1.04	1.63	0.45	0.45	4.80			
1.6- 2.0	0.72	0.58	1.23	2.57	2.25	2.14	9.50	1.04	1.45	1.18	1.86	1.31	0.95	7.79			
2.1- 4.0	1.78	4.78	5.11	10.55	13.59	10.29	46.10	2.81	4.67	4.62	11.64	5.71	4.35	33.80			
4.1- 8.0	0.40	6.42	9.21	10.22	5.47	1.63	33.35	0.0	0.32	6.25	26.37	6.62	2.08	41.64			
8.1-15.0	0.0	0.04	0.14	0.11	0.0	0.0	0.29	0.0	0.0	0.50	7.93	0.23	0.0	8.65			
15.1-30.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0			
SUMME	3.84	13.23	17.36	26.42	23.05	16.09	100.00	4.98	6.98	14.23	50.16	14.86	8.79	100.00			
	4.	120°					3,58 %										2,60 %
0.0- 0.5	0.34	0.07	0.41	0.34	0.14	0.21	1.51	0.38	0.09	0.28	0.66	0.09	0.28	1.80			
0.6- 1.0	0.34	0.48	0.96	1.17	0.75	1.78	5.49	0.57	0.38	1.14	1.14	0.57	1.32	5.11			
1.1- 1.5	0.48	1.03	1.24	1.92	1.10	1.99	7.76	2.37	1.70	1.61	2.84	1.51	1.32	11.35			
1.6- 2.0	0.55	0.82	2.13	2.95	2.54	4.39	13.38	3.22	2.74	1.99	4.45	2.08	1.70	16.18			
2.1- 4.0	1.24	2.13	2.75	8.51	10.84	27.87	53.33	5.96	8.42	7.57	17.03	5.39	3.78	48.16			
4.1- 8.0	0.0	0.14	1.03	1.37	3.50	12.42	18.46	0.09	0.47	2.27	11.07	2.27	0.38	16.56			
8.1-15.0	0.0	0.0	0.0	0.07	0.0	0.0	0.07	0.0	0.0	0.09	0.76	0.0	0.0	0.85			
15.1-30.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0			
SUMME	2.95	4.67	8.51	16.33	18.87	48.66	100.00	12.58	13.81	14.95	37.94	11.92	8.80	100.00			
	5.	150°					3,23 %										3,22 %
0.0- 0.5	0.08	0.23	0.46	0.52	0.08	0.76	2.13	0.15	0.0	0.08	0.23	0.08	0.61	1.15			
0.6- 1.0	0.46	0.46	1.07	1.37	0.76	2.05	6.16	0.76	0.53	0.84	0.99	0.61	1.83	5.58			
1.1- 1.5	0.68	0.61	2.13	2.74	1.52	2.89	10.58	1.38	1.91	1.68	2.22	1.22	1.76	10.16			
1.6- 2.0	0.46	0.38	1.29	3.58	1.75	5.10	12.56	2.22	1.99	2.22	3.44	2.29	2.14	14.29			
2.1- 4.0	0.61	0.30	1.83	10.50	13.70	22.98	49.92	6.19	9.63	8.94	16.04	7.10	3.59	51.49			
4.1- 8.0	0.0	0.0	0.15	2.21	3.96	12.25	18.57	0.0	0.99	2.90	11.61	1.15	0.38	17.04			
8.1-15.0	0.0	0.0	0.08	0.0	0.0	0.0	0.08	0.0	0.0	0.0	0.31	0.0	0.0	0.31			
15.1-30.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0			
SUMME	2.28	1.98	7.00	20.93	21.77	46.04	100.00	10.70	15.05	16.65	34.84	12.45	10.31	100.00			
	6.	180°					3,78 %										7,76 %
0.0- 0.5	0.26	0.26	0.26	0.19	0.06	0.71	1.75	0.06	0.0	0.03	0.06	0.10	0.10	0.35			
0.6- 1.0	0.52	0.58	1.10	1.10	0.71	1.95	5.97	0.25	0.13	0.41	0.70	0.25	0.41	2.15			
1.1- 1.5	0.39	1.04	1.62	2.01	1.23	1.43	7.73	0.35	0.54	1.01	0.57	0.57	0.86	3.90			
1.6- 2.0	0.39	0.52	1.43	4.16	2.60	4.87	13.96	0.86	1.24	1.05	1.93	1.24	0.51	6.81			
2.1- 4.0	0.26	0.65	2.40	12.86	15.13	23.25	54.55	2.09	6.97	7.06	14.92	8.71	6.94	46.69			
4.1- 8.0	0.0	0.0	0.32	5.39	3.25	6.95	15.91	0.25	3.10	9.09	17.99	6.34	2.95	39.72			
8.1-15.0	0.0	0.0	0.06	0.06	0.0	0.0	0.13	0.0	0.0	0.03	0.35	0.0	0.0	0.38			
15.1-30.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0			
SUMME	1.82	3.05	7.21	25.78	22.99	39.16	100.00	3.86	11.97	18.69	36.52	17.20	11.75	100.00			

Tabelle 4 Ausbreitungsstatistik, aufsummiert über alle Windrichtungssektoren

1.12.1971 - 30.11.1976

HÄUFIGKEIT IN PROZENT

WINDGESCHWINDIGKEITSBEREICH (MESSHÖHE 60 m) m/s	AUSBREITUNGSKATEGORIE						SUMME
	A	B	C	D	E	F	
0.0- 0.5	0.07	0.04	0.12	0.13	0.05	0.15	0.56
0.6- 1.0	0.21	0.18	0.37	0.54	0.30	0.65	2.25
1.1- 1.5	0.41	0.49	0.79	1.22	0.67	0.77	4.35
1.6- 2.0	0.54	0.64	0.97	1.84	1.19	1.30	6.48
2.1- 4.0	1.39	3.49	4.82	11.63	8.77	8.77	38.87
4.1- 8.0	0.09	1.71	6.67	22.10	6.93	5.56	43.05
8.1-15.0	0.0	0.00	0.31	4.06	0.04	0.01	4.42
15.1-30.0	0.0	0.0	0.00	0.01	0.0	0.0	0.01
SUMME	2.71	6.55	14.06	41.52	17.95	17.21	100.00

Tabelle 5 Ausbreitungsparameter  $\sigma_y$  und  $\sigma_z$

$$\sigma_y = (\sigma_t^2 + \sigma_{y0}^2 \times p_y^{1/2})^{1/2}$$

$$\sigma_z = \sigma_{z0} \times p_z$$

Ausbreitungs- kategorie	$\sigma_t$ m	$\sigma_{y0}$ m	$p_y$ -	$\sigma_{z0}$ m	$p_z$ -	$\sigma_{z, \max}$ m
A	40	0,65	0,875	0,039	1,42	2000
B				0,020	1,38	1500
C		0,43		0,052	1,15	1000
D		0,34		0,10	1,01	
E				0,66	0,61	
F		1,30		0,45		

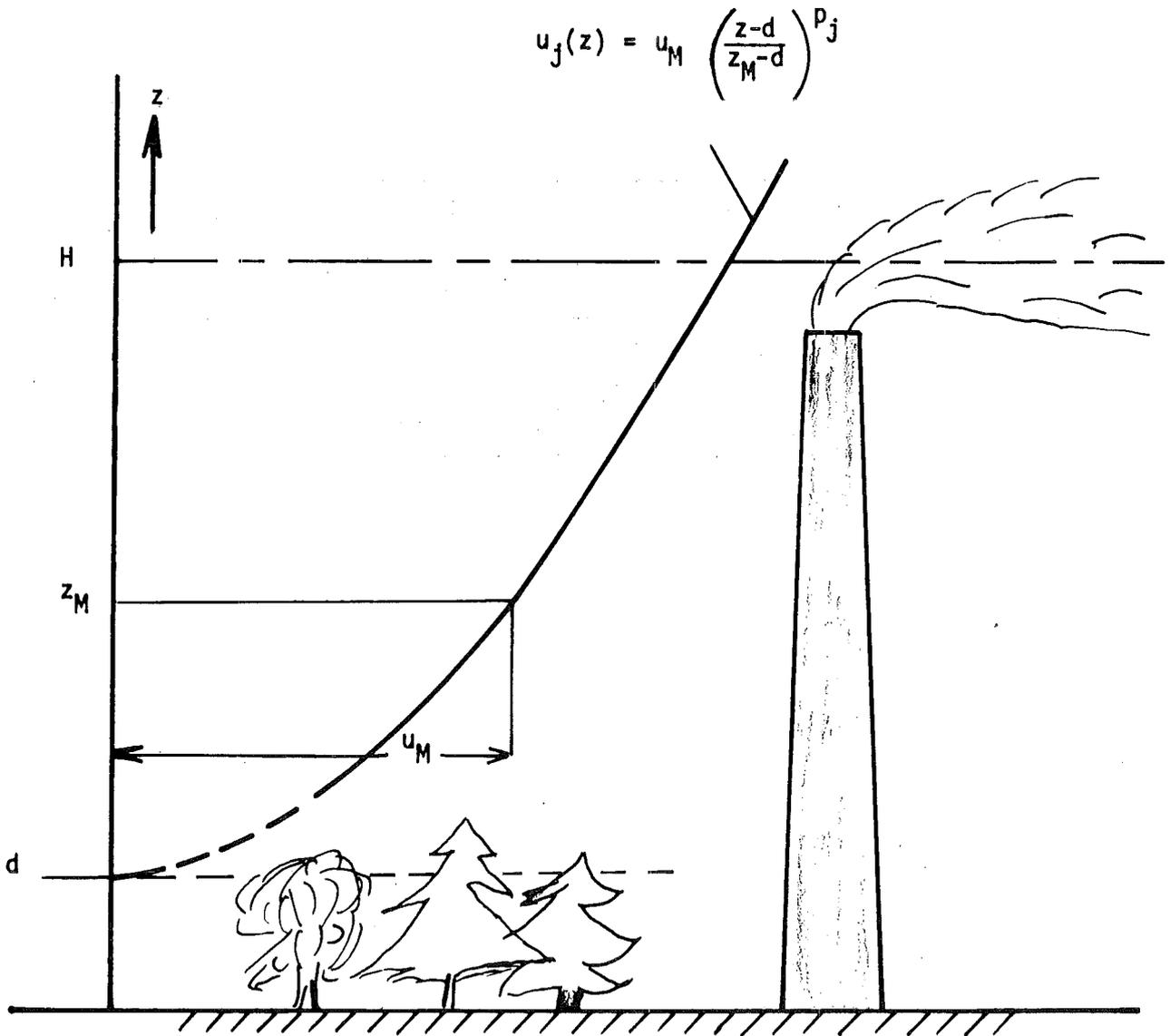


Abb. 1 Windgeschwindigkeitsprofil

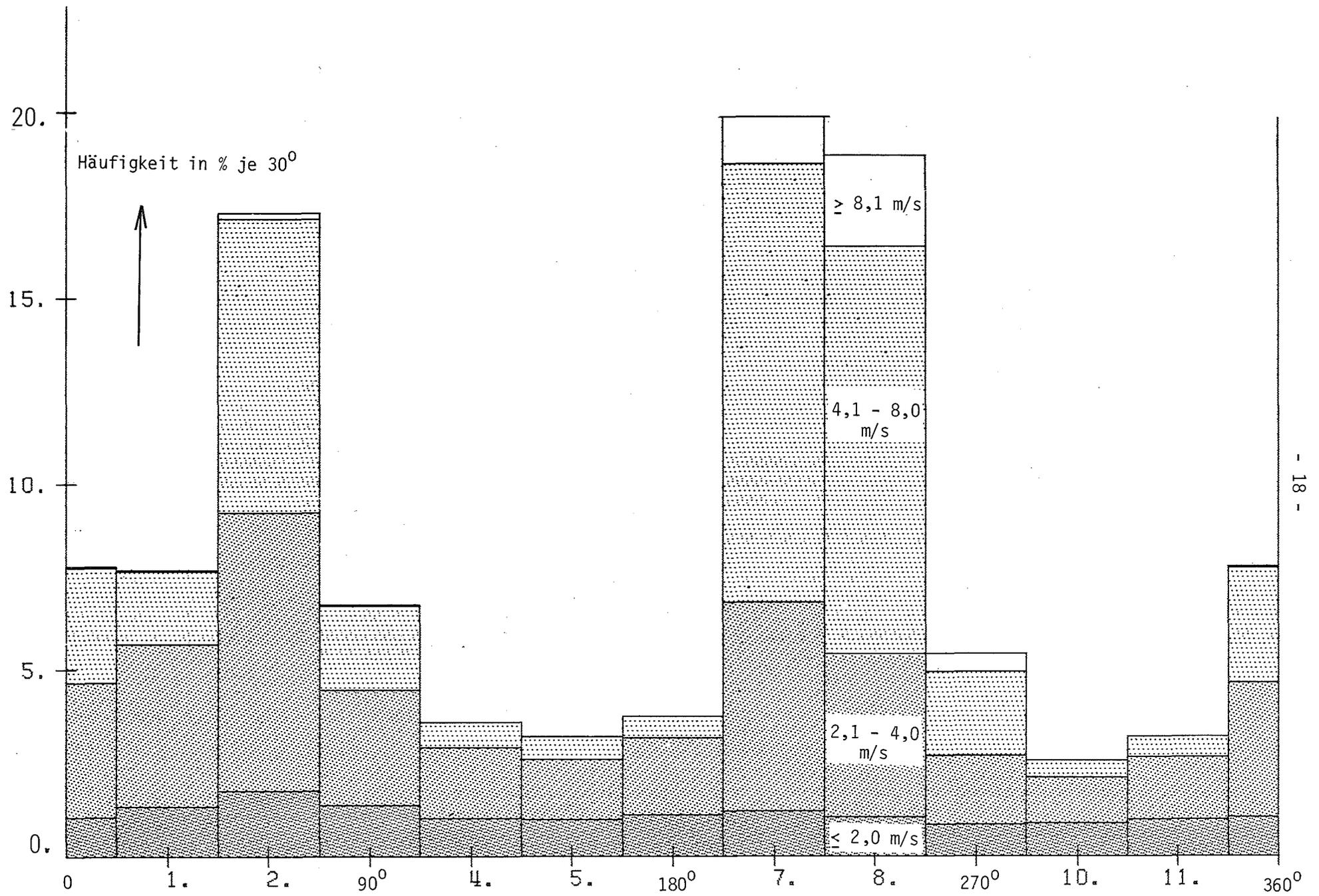


ABB. 2 Häufigkeitsverteilung der Windgeschwindigkeitsstufen in den Windrichtungssektoren  
 Meßhöhe 60 m

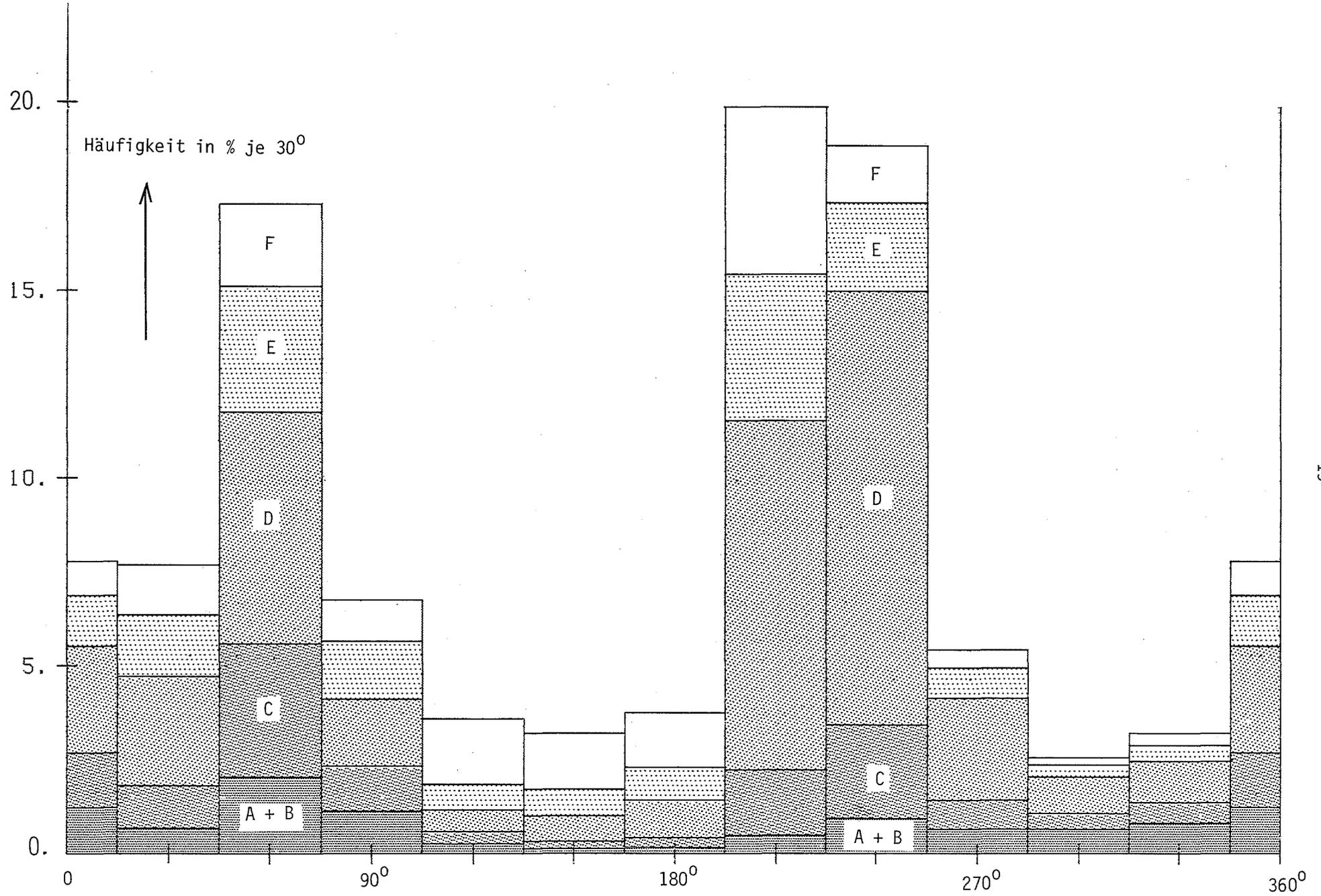


ABB. 3 Häufigkeitsverteilung der Ausbreitungskategorien in den Windrichtungssektoren  
 Meßhöhe der Windrichtung 60 m

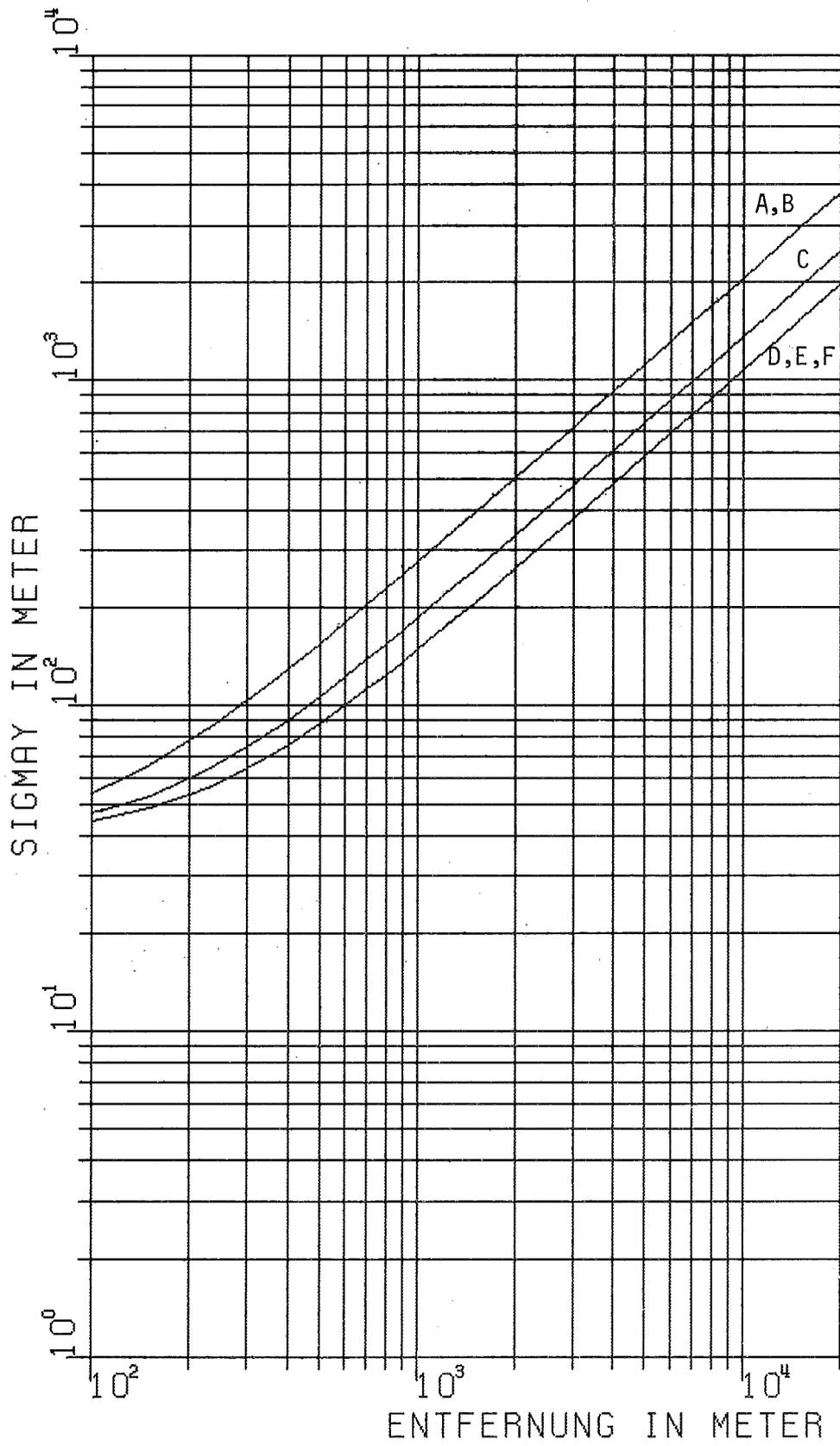


Abb. 4 Horizontaler Ausbreitungsparameter  $\sigma_y(x)$   
Rauhigkeitslänge  $z_0 = 1,5$  m

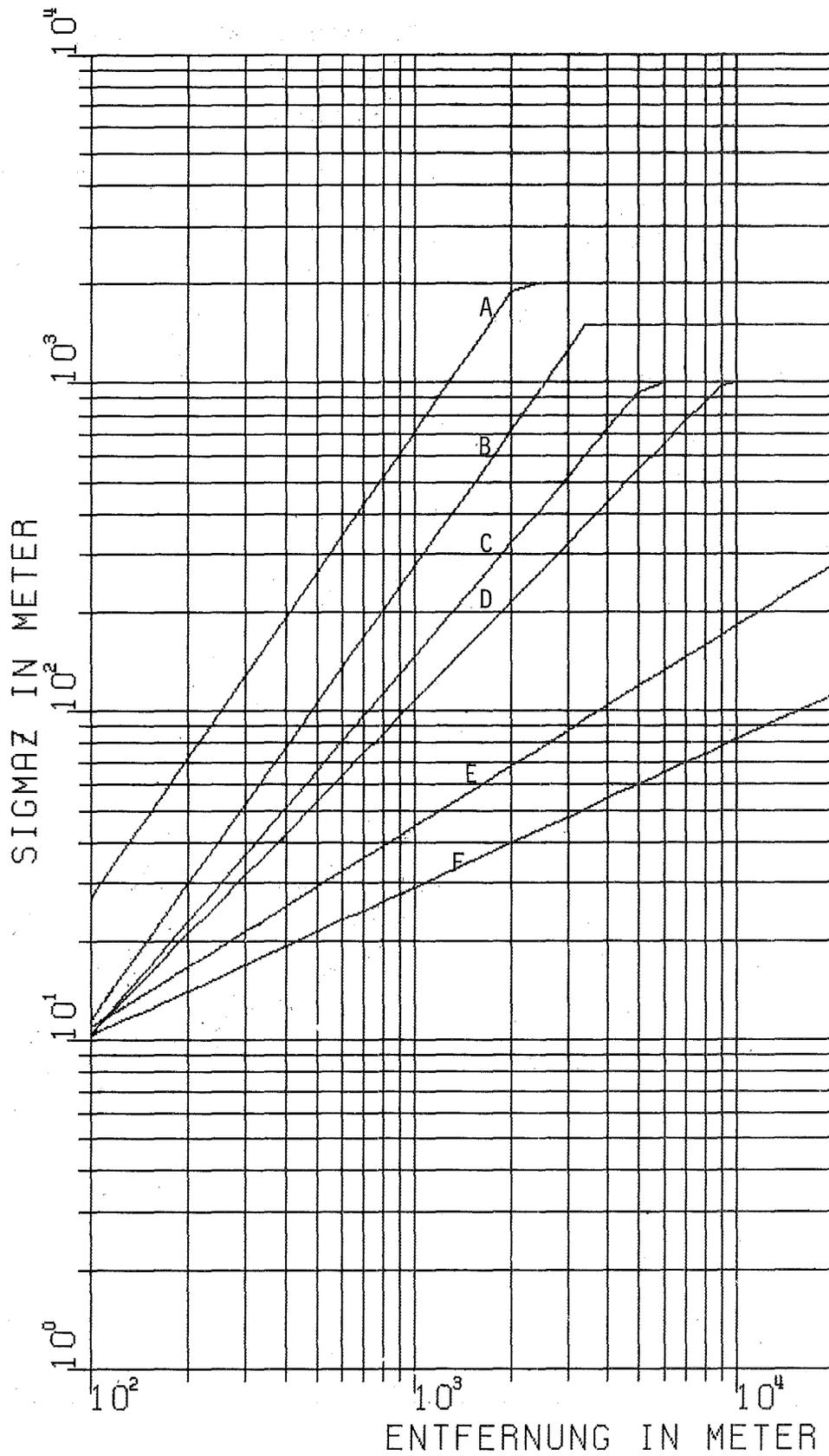


Abb. 5 Vertikaler Ausbreitungsparameter  $\sigma_y(x)$   
Rauhigkeitslänge  $z_0 = 1,5$  m

Statistik des KFZK 1972/76

Rauhigkeitslänge  $z_0 = 1,5 \text{ m}$

$30^\circ$ -Sektoren

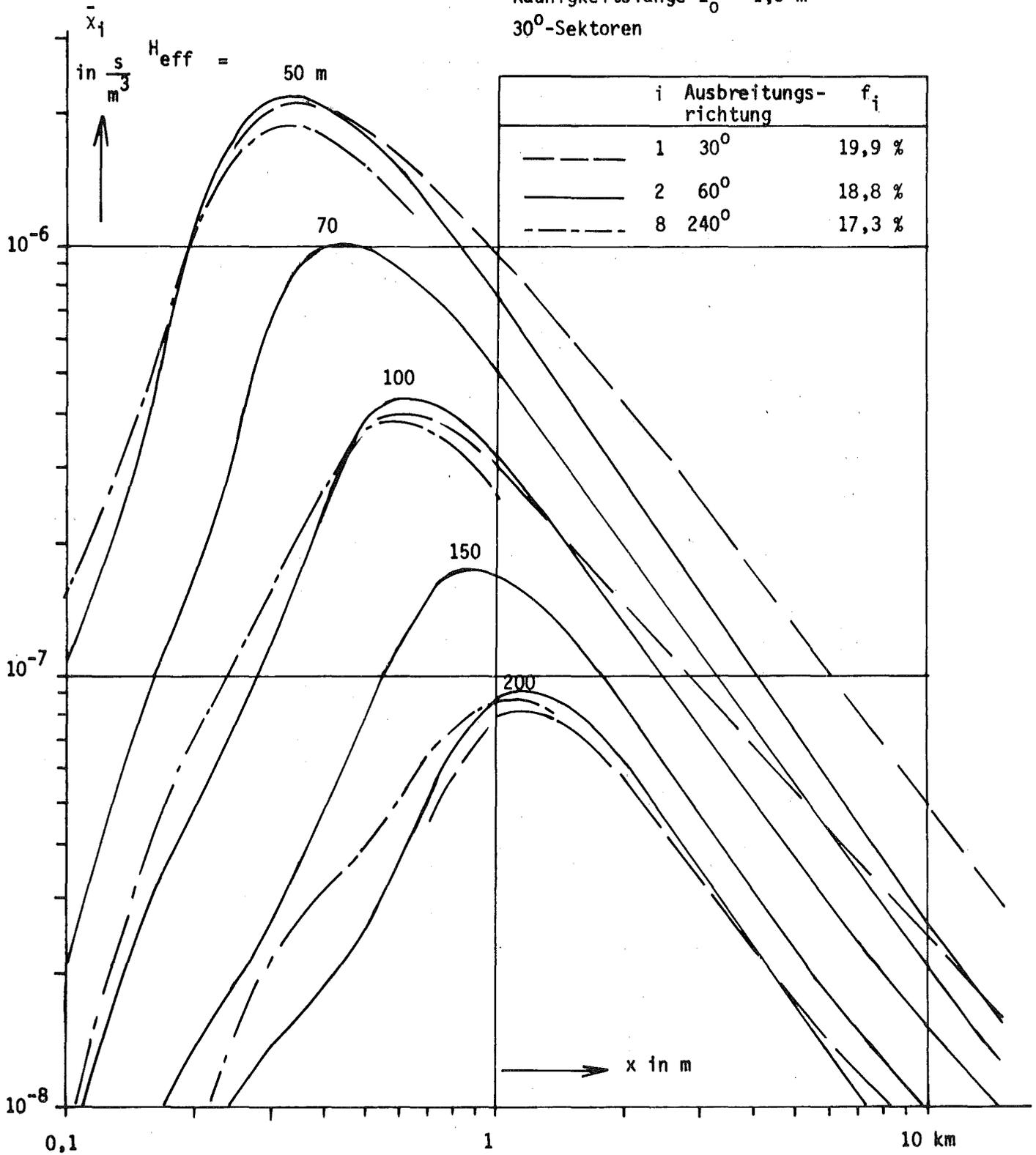


Abb. 6 Mittlerer Ausbreitungsfaktor  $\bar{\chi}_1(x)$