

KERNFORSCHUNGSANLAGE JÜLICH GmbH

in Zusammenarbeit mit dem

KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE GmbH

BIBLIOTHEK

**In der Bundesrepublik Deutschland
experimentell
ermittelte Ausbreitungsparameter
für 100 m Emissionshöhe**

von

H. Geiß, K. Nester, P. Thomas, K.J. Vogt

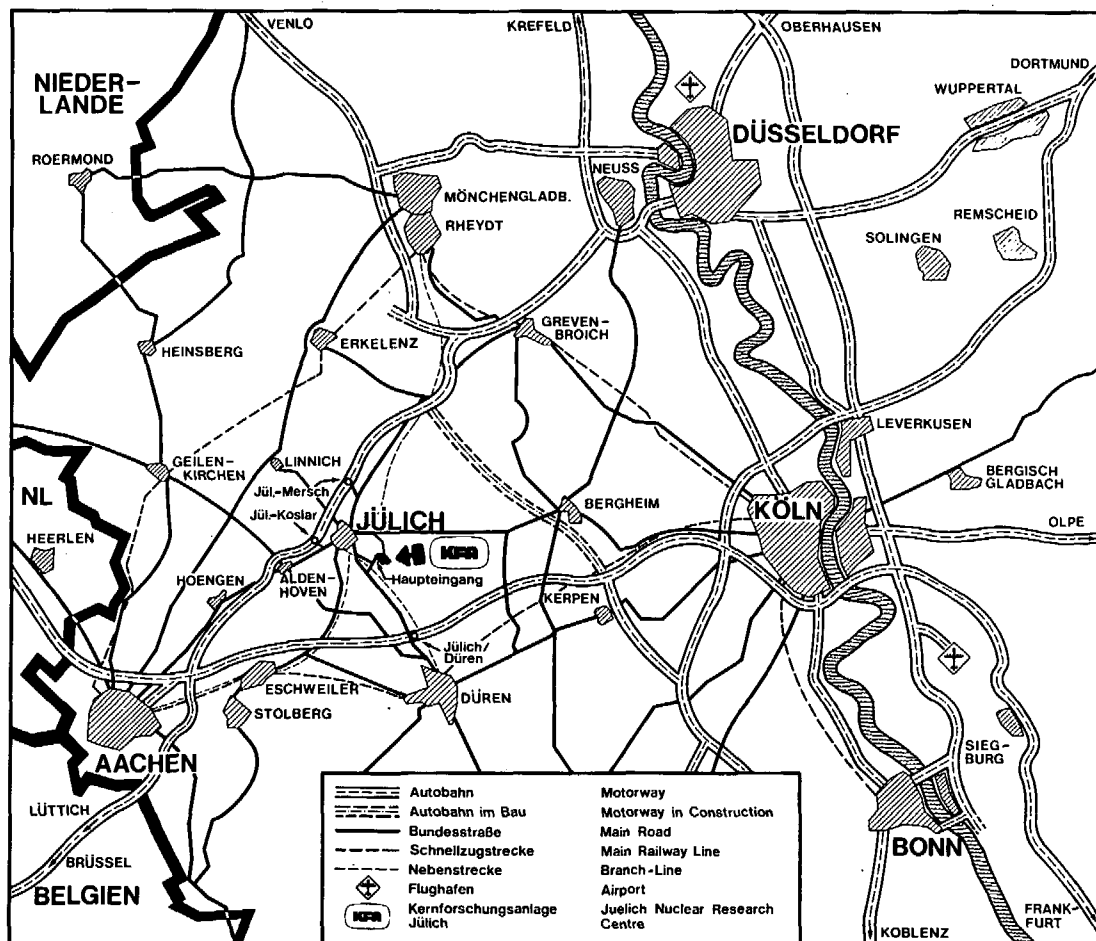
Jül - 1707

KfK - 3095

Februar 1981

ISSN 0366-0885 (KFA)

ISSN 0303-4003 (KfK)



Als Manuskript gedruckt

Berichte der Kernforschungsanlage Jülich – Nr. 1707
Berichte des Kernforschungszentrum Karlsruhe – Nr. 3095

Zu beziehen durch: ZENTRALBIBLIOTHEK der Kernforschungsanlage Jülich GmbH
 Postfach 1913 · D-5170 Jülich (Bundesrepublik Deutschland)
 Telefon: 02461/610 · Telex: 833556 kfa d

**In der Bundesrepublik Deutschland
experimentell ermittelte
Ausbreitungsparameter
für 100 m Emissionshöhe**

von

H. Geiß*, K. Nester, P. Thomas**, K.J. Vogt***

*** Kernforschungsanlage Jülich**

**** Kernforschungszentrum Karlsruhe**

Experimentally Determined Dispersion Parameters in the Federal Republic of Germany for Emission Heights of 100 m

Summary

Comparative studies of the results of the Jülich and Karlsruhe diffusion experiments applicable to 100 m source height have shown that a combination of both experimental series is justified. Following a short description of the experimental performance the determination of the dispersion parameters at both sites will be explained. A method has been developed to combine and smooth these parameters. The method is described and illustrated by diagrams.

The results have been compared with the St. Louis and Brookhaven data. The comparison has made evident that the dispersion parameters set up experimentally at the US-sites yield comparable results in part only. This means that they can hardly be applied to sites in the Federal Republic of Germany.

Zusammenfassung

Vergleichende Untersuchungen der Ergebnisse der Jülicher und Karlsruher Ausbreitungsexperimente für 100 m Quellhöhe haben ergeben, daß eine Zusammenfassung beider Experimentreihen gerechtfertigt ist. Nach einer kurzen Beschreibung der Versuchsdurchführung wird auf die Bestimmung der Ausbreitungsparameter an beiden Standorten eingegangen. Diese bilden die Grundlage für die Zusammenfassung, die so angelegt ist, daß gleichzeitig eine Glättung der Ausbreitungsparameter erfolgt. Die Methode der Zusammenfassung wird beschrieben und anhand von Diagrammen verdeutlicht.

Die Ergebnisse wurden denen von St. Louis und Brookhaven gegenübergestellt. Dabei ergab sich, daß die anhand der dortigen Experimente aufgestellten Ausbreitungsparameter nur zum Teil vergleichbare Ergebnisse liefern und deshalb für die Bundesrepublik kaum anwendbar sind.

1. Einleitung

Die im Rahmen von Genehmigungsverfahren auf der Grundlage von § 45 der StrlSchV durchzuführende Berechnung der Strahlenexposition in der Umgebung kerntechnischer Anlagen erfolgt auf der Basis der vom Bundesminister des Innern erlassenen "Allgemeine Berechnungsgrundlage für die Strahlenexposition bei radioaktiven Ableitungen mit der Abluft oder in Oberflächengewässer" (Richtlinie zu § 45 StrlSchV)/1/.

Die für die Berechnung der Ausbreitung von Abluftfahnen benötigten Ausbreitungsparameter sind nach dieser Richtlinie aus Ausbreitungskoeffizienten zu ermitteln, die auf Ausbreitungsexperimente zurückgehen, die in der Kernforschungsanlage Jülich in 50 und 100 m Emissionshöhe durchgeführt wurden /2/. Für Emissionshöhen bis zu 75 m sind die Ausbreitungskoeffizienten des 50 m Datensatzes, für größere Emissionshöhen die des 100 m Datensatzes zu verwenden.

Die Richtlinie basiert auf einer Empfehlung der Strahlenschutzkommission vom Oktober 1977 /3/. Seither sind in der Bundesrepublik bei der Kernforschungsanlage Jülich (KFA) und beim Kernforschungszentrum Karlsruhe (KfK) eine Reihe weiterer Ausbreitungsexperimente durchgeführt worden, die es ermöglichen, für die in Vorbereitung befindliche Radioökologieverordnung, die die oben zitierte Richtlinie ablösen soll, verbesserte und statistisch besser gesicherte Datensätze zur Verfügung zu stellen. Der den Bundesminister des Innern beratende "Radioökologieausschuß" der Strahlenschutzkommission (SSK) hat daher für die Radioökologieverordnung eine Neufassung der Datensätze vorgesehen. Dabei wurde beschlossen, zusätzlich zu den Datensätzen für kleinere (50 m) und mittlere Emissionshöhen (100 m), noch einen Datensatz für große Emissionshöhen (180 m) in die Radioökologieverordnung aufzunehmen, der auf Messungen des KfK basiert /4/. Der aus Ausbreitungsexperimenten der KFA resultierende 50 m-Datensatz soll modifiziert werden, um den Ergebnissen der Versuche der letzten Jahre Rechnung zu tragen /3/. Für den 100 m-Datensatz wurde beschlossen, die Ergebnisse der mit dieser Emissionshöhe in Jülich /5/ und Karlsruhe /6/, /15/ durchgeführ-

ten Experimente zusammenzufassen, um damit zu einer besseren statistischen Absicherung der Ausbreitungskoeffizienten zu kommen.

Aus Gründen der Einheitlichkeit wäre es wünschenswert, die für die Radioökologieverordnung beabsichtigte Regelung auch im konventionellen Bereich einzuführen. Die Neufassung der VDI-Richtlinie "Ausbreitung luftfremder Stoffe in der Atmosphäre" böte dafür eine gute Möglichkeit.

Eine im Jahre 1979 bei der KFA vorgenommene statistische Analyse /8/ der in 100 m Emissionshöhe durchgeführten Ausbreitungsexperimente der KFA und des KfK hat ergeben, daß die aus den Jülicher Messungen resultierenden Ausbreitungsparameter die bei Ausbreitungsexperimenten in Karlsruhe gemessenen bodennahen Konzentrationen gut beschreiben. Das gleiche gilt umgekehrt für die Anwendung des Karlsruher Datensatzes auf die Experimente in Jülich. Eine Zusammenfassung der Ergebnisse der KFA und der KfK zu einem gemeinsamen Ausbreitungsparametersatz liefert nach der statistischen Auswertung der Abweichung von berechneten und gemessenen Konzentrationen die beste Anpassung. Die Zusammenfassung der Einzelversuche von KFA und KfK ist daher trotz einiger Unterschiede in den Meß- und Auswertemethoden sowie in Bezug auf den Standort gerechtfertigt.

Die Zusammenfassung der Ergebnisse hatte eine Vereinheitlichung des Auswerteverfahrens in zwei wesentlichen Punkten zur Voraussetzung. Aus diesem Grund weichen die von der KfK eingebrachten Ausbreitungsparameter etwas von den bisher publizierten Werten /7/, /16/ ab.

- Die Zuordnung der Ausbreitungsversuche nach Diffusionskategorien erfolgt jetzt nach kompatiblen Klassifizierungsverfahren, die von der Windgeschwindigkeit und einem Stabilitätsparameter (Temperaturgradient, Strahlungsbilanz oder synoptischen Beobachtungen von Sonnenstand und Bewölkungsgrad) ausgehen und wie das im Prinzip vergleichbare Verfahren von Klug/Mannier 6 im wesentlichen den Pasquillschen Ausbreitungsklassen entsprechende Diffusionskategorien unterscheidet.
- Die Ausbreitungsparameter werden so berechnet, daß die für

die Gaußsche Ausbreitungsgleichung benötigte Ausbreitungsgeschwindigkeit als Windgeschwindigkeit in Emissionshöhe (100 m) anzusetzen ist.

Eine Wiederholung der statistischen Untersuchungen mit den modifizierten Daten hat eine noch bessere Vergleichbarkeit der Meßergebnisse von KFA und KfK ergeben. Die Untersuchungen liefern damit nicht nur eine Rechtfertigung der Zusammenfassung der beiden Experimentreihen. Sie zeigen auch, daß die Unterschiede der beiden Standorte bzgl. Orographie und Bodenrauhigkeit nicht signifikant in die Datensätze eingehen und liefern insoweit auch einen Hinweis auf die Übertragbarkeit von Ausbreitungsparametern vom Standort der Ausbreitungsexperimente auf andere Standorte mit nicht zu extremen Unterschieden in Bezug auf Orographie und Bodenrauhigkeit.

2. Durchführung der Ausbreitungsexperimente

2.1. Versuchsdurchführung in der KFA

2.1.1 Verwendete Tracer und Emissionstechnik

Als Tracer kamen zum Einsatz

- mit Cu 64 dotiertes CuSO_4 -Aerosol für die Versuche 22-30, 41, 48, 49, 50, 53, 68, 73
- mit Ho 166 dotiertes $\text{Ho}_2(\text{SO}_3)$ für die Versuche 51, 54, 55, 58-62, 66-70, 73-76

Die Emission erfolgte in allen Fällen von der 100 m Plattform des meteorologischen Turms der KFA. Die in Wasser gelösten Tracer wurden mit Hilfe eines Aerosolgenerators mit Zweistoffdüse /9/ versprüht. Das erzeugte Tröpfchenaerosol trocknet in der Luft sehr schnell ab. Das verbleibende trockene Aerosol besteht aus Partikeln in der Größenordnung von 1 μm .

Die Emissionsrate läßt sich über die zugeführte Druckluft einstellen und konstant halten. Die emittierte Menge wird aus einer Differenzmessung der Aktivität vor und nach der Emission bestimmt. Der Meßfehler liegt bei ca. 15%. Die Emissionsdauer betrug zwischen 40 und 60 min.

2.1.2 Probenahmetechnik und Ermittlung der zeitintegrierten Konzentration

Die Probenahme erfolgte mit einer je nach Wettersituation unterschiedlichen Anzahl von Meßstellen an bis zu 50 Positionen. Die Probenahmestellen waren dabei überwiegend auf Strahlen mit einem Winkelabstand von 7,5 Grad in einer Entfernung von 100 m bis 11 km von der Quelle angeordnet. Die Probenahmedauer hing von der mittleren Windgeschwindigkeit ab. Sie betrug zwischen 60 und 120 min.

Die Probenahmetechnik ist für beide Tracer die gleiche /9/. Die Gebläse der Probenahmestationen werden über Funk ein- bzw. ausgeschaltet. Über ein Papierfilter werden die Aerosole aus der Umgebungsluft ausgefiltert. Nach dem Durchzug der Abluftfahne werden die Filter entnommen und in einem Low-Level-Messplatz die auf ihnen enthaltene Aktivität ausgemessen. Durch eine Abklinganalyse wird der Cu 64-Anteil auf jedem Filter vom Untergrund diskriminiert. Als Untergrund werden die Folgeprodukte der natürlichen Zerfallsreihen des Radon mitgemessen. Von Bedeutung kann hier vor allem Thorium B mit einer dem Cu 64 ähnlichen Halbwertszeit sein. Ausführliche Untersuchungen des Untergrundbereichs haben für Thorium B zeitintegrierte Konzentrationen von $1 \cdot 10^{-9} - 1 \cdot 10^{-8}$ (Cis/m³) ergeben.

Bei Experimenten mit Ho 166 als Tracer wird die Ermittlung der Aktivität bei der Abklinganalyse wegen der erheblich größeren Halbwertszeit durch den natürlichen Untergrund nahezu nicht beeinflusst.

Die bei den einzelnen Experimenten ermittelten Konzentrationsverteilungen werden demnächst veröffentlicht.

2.2 Versuchsdurchführung im KfK

2.2.1 Verwendete Tracer und Emissionstechnik

Als Tracer kamen zum Einsatz

- tritiiertes Wasserdampf HTO (Versuche Nr. 9, 10, 11 und 17)
- Tetrachlorkohlenstoff CCl₄ (Versuch Nr. 20)
- Difluoridibrommethan CF₂Br₂ (Versuche Nr. 34 und 43)

- Frigen 11 CFCl_3 (Versuch Nr. 44 bis 51)

Bei den Versuchen Nr. 14, 15, 18 und 19 wurde HTO und CCl_4 , bei dem Versuch Nr. 23 HTO und CFCl_3 und bei den Versuchen Nr. 24 und 25 HTO und CFCl_3 simultan freigesetzt. Bis zum Versuch Nr. 25 erfolgte die Emission über den 100 m hohen Schornstein des Forschungsreaktors FR2, später von der 100 m-Plattform des meteorologischen Mastes.

Die flüssigen Tracer wurden in thermisch isolierten Kesseln elektrisch aufgeheizt und verdampft. Die Emissionsrate ließ sich über die zugeführte elektrische Heizleistung einstellen und konstant halten. Die Emissionsrate wurde durch Wägung der Kessel bzw. Messung des Flüssigkeitsstandes in den Kesseln vor, während und nach der Emission und durch Differenzbildung bestimmt. Sie war von Experiment zu Experiment verschieden und betrug rund 1 mCi/s bei HTO bzw. 2 g/s bis 15 g/s bei den halogenierten Kohlenwasserstoffen. Der Fehler der Emissionsrate lag unter 6%. Nach Erreichen einer konstanten Emissionsrate begann die Probenahme mit einer zeitlichen Verzögerung, wobei Quellentfernung und Transportgeschwindigkeit berücksichtigt wurden.

2.2.2 Probenahme und Ermittlung der Konzentration

Die Probenahme erfolgte im Lee der Quelle bis zum Versuch Nr. 23 an 25 Positionen, ab Versuch Nr. 24 an ca. 50 Positionen; bis zum Versuch Nr. 11 in fünf oder sechs aufeinanderfolgenden Perioden à 20 min Dauer, dann in zwei oder drei aufeinanderfolgenden Perioden à 30 min Dauer. Das Probenahmefeld wurde für jeden Versuch neu in Abhängigkeit der zu erwartenden Ausbreitungsrichtung und -kategorie festgelegt. Die Kategorie bestimmte dabei den Öffnungswinkel des Probenahmesektors sowie die minimale und maximale Entfernung der Probenahmestellen von der Quelle. Die Probenahmestellen waren annähernd auf fünf Kreisbögen angeordnet, die konzentrisch um den Fußpunkt der Quelle lagen. Das Probenahmefeld umfaßte Quellentfernungen zwischen 100 m und 10 km und hatte einen Öffnungs-

winkel von 40° bis 130°.

2.2.2.1 Tritiiertes Wasserdampf

Die Probenahme erfolgte durch Ausfrieren der Luftfeuchtigkeit an Aluminiumplatten, die auf Trockeneis lagen. Der sich auf den Platten bildende Reif wurde manuell abgekratzt und in Probeflaschen gefüllt. Die Bestimmung der Konzentration geschah im Labor mit einem Flüssig-Szintillationsspektrometer /10/. Die Nachweisgrenze lag bei 1 pCi/g.

2.2.2.2 Halogenierte Kohlenwasserstoffe

Bei der Probenahme wird Luft über eine kalibrierte Kapillare in evakuierte Glasgefäße gesaugt, deren Volumen ca. 1 l beträgt. Bis zu Versuch Nr. 34 erfolgte die Probenahme manuell, ab Versuch Nr. 35 automatisch. Ein elektronisches Leitgerät steuert Stromstoßventile, die die Kapillaren öffnen und schließen. An dem Leitgerät kann eine beliebige Vorwahlzeit zwischen 0 und 6 Stunden in Schritten von einer halben Stunde eingestellt werden. Nach Ablauf dieser Vorwahlzeit, während der die Probenahmegeräte ins Gelände gebracht werden, erhält das Stromstoßventil des ersten Probenahmegefäßes einen positiven Impuls und öffnet. Nach einer halben Stunde erhält das Stromstoßventil des ersten einen negativen Impuls und das Stromstoßventil des zweiten Probenahmegerätes einen positiven Impuls; d.h. das erste Gefäß schließt und das zweite öffnet. Jedes Leitgerät kann maximal vier Ventile mit aufeinanderfolgenden Öffnungszeiten von jeweils einer halben Stunde steuern.

Im Labor wird die Konzentration der Tracer in einem Gaschromatographen mit Elektroneneinfang-Detektor bestimmt. Mit den Tracern CCl_4 und CFCl_3 ist die Atmosphäre vorbelastet. Deshalb werden im Luv der Quelle an ca. fünf Positionen Nullproben genommen. Der Mittelwert der gemessenen Untergrundkonzentrationen wird von den im Lee ermittelten Meßwerten abgezogen.

Die bis zum Versuch Nr. 25 gemessenen Konzentrations-

werte sind zusammen mit meteorologischen Meßwerten in /6/ zusammengestellt. Die bei Versuch Nr. 26 bis 51 ermittelten Meßwerte werden demnächst als KfK-Bericht veröffentlicht.

3. Ermittlung der Ausbreitungsparameter

3.1 Allgemeine Darstellung der Auswertverfahren

Die Ausbreitungsparameter σ_y und σ_z werden durch die Methode der kleinsten Fehlerquadrate bestimmt. Dazu wird die doppelte Gaußverteilung Gl.(1) an die gemessenen Konzentrationswerte angepaßt.

$$c(x,y) = \frac{\dot{A} \cdot \chi(x)}{u} \exp \left(- \frac{y^2}{2\sigma_y^2} \right) \quad (1)$$

$$\chi(x) = \frac{1}{\pi \sigma_y(x) \cdot \sigma_z(x)} \exp \left(- \frac{H^2}{2\sigma_z^2} \right) \quad (2)$$

Die Abhängigkeit der Ausbreitungsparameter von der Quellentfernung wird durch einen Potenzansatz (3) ausgedrückt.

$$\sigma_y(x) = p_y \cdot x^{q_y} ; \quad \sigma_z(x) = p_z \cdot x^{q_z} \quad (3)$$

Es bedeuten:

$c(x,y)$ = gemessene bodennahe Konzentration,
 $\dot{A}$ = gemessene Emissionsrate,
 u = Windgeschwindigkeit,
 H = Emissionshöhe,
 $\chi(x)$ = Ausbreitungsfaktor,
 x,y = rechtwinklige Koordinaten in und quer zur Ausbreitungsrichtung.

Das Auswertverfahren benötigt Anfangswerte p_{y_0} , q_{y_0} , p_{z_0} und q_{z_0} . Jedes Experiment wird mit jeweils unterschiedlichen Sätzen von Anfangswerten bearbeitet. Im

allgemeinen bringen verschiedene Sätze von Anfangswerten gleiche Ergebnisse. Bei Versuchen mit Meßwerten, die nur schlecht einer Gaußverteilung entsprechen, können verschiedene Sätze von Anfangswerten verschiedene Ergebnisse liefern. In diesen Fällen wird das Ergebnis mit der kleinsten Fehlerquadratsumme als repräsentativ erachtet, sofern es physikalisch sinnvoll ist. Im Detail ergeben sich jedoch bei den Auswertverfahren Unterschiede, die im folgenden dargestellt werden.

3.2 Bestimmung der Ausbreitungsparameter in der KFA

Als Maß für die Güte der Anpassung der Meßwerte durch die Gl. (3) wird nicht das Minimum der Summe der quadratischen Abweichungen

$$Q = \sum_{I=1}^N (M(I) - R(I))^2 = \min$$

sondern der Summe der Quadrate der relativen Abweichungen

$$Q = \sum_{I=1}^N \frac{(M(I) - R(I))^2}{(M(I) + R(I))^2} = \min$$

M = Meßwert

R = Rechenwert

N = Anzahl der Meßpunkte

verwendet. Im Detail ist das Verfahren in /9/ beschrieben. Wegen der Unkenntnis der mittleren Ausbreitungsgeschwindigkeit wurde das Verhältnis von Quellstärke zu Ausbreitungsgeschwindigkeit Q/u mitvariiert. Die mittlere Ausbreitungsrichtung δ wurde ebenfalls als unbekannter Parameter angesehen und im Least-square-fit bestimmt. Als Anfangswert ging hierfür die in Emissionshöhe gemessene Windrichtung ein. Somit erhält man als Parameter für jedes Experiment die sechs Werte p_y , q_y , p_z , q_z , δ und Q/u .

3.3 Bestimmung der Ausbreitungsparameter im KfK

Die gemessenen Konzentrationswerte werden in Abhängigkeit der Quellentfernung proportional zum reziproken Ausbreitungsfaktor χ (s. Gleichung (2)) gewichtet. Meßwerte am Maximum des Ausbreitungsfaktors erhalten die Wichtung 1. Die Wichtung wird beschränkt und liegt unter einem Grenzwert. Dazu wird zunächst die maximale Konzentration in jeder Zone und anschließend das Minimum und Maximum dieser Maximalwerte gesucht. Der Grenzwert ist schließlich das doppelte Verhältnis von Maximum und Minimum.

Die Auswertemethode liefert auch die Fehlerbreiten der Ausbreitungsparameter. Die Fehler sind ein Maß für den Unterschied zwischen der gemessenen Verteilung und der Gaußverteilung. Im Vergleich zu diesen Unterschieden sind die Meßfehler bedeutungslos. Die Auswertemethode ist detailliert in /7/ beschrieben.

Als mittlere Ausbreitungsgeschwindigkeit wird die in Emissionshöhe gemessene und über die Probenahmedauer gemittelte Windgeschwindigkeit verwendet. Die mittlere Ausbreitungsrichtung wird nicht aus der gemessenen Windrichtung abgeleitet, sondern bei der Auswertung in 1°-Schritten variiert. Es gilt die Richtung als repräsentativ, zu der die kleinste Fehlerquadratsumme gehört.

Die Zusammenfassung der Ausbreitungsparameter der einzelnen Perioden eines Versuches erfolgte durch Bildung des geometrischen Mittels entsprechend den Gleichungen (4) bis (6).

$$\bar{p} = \left(\prod_{i=1}^N p_i \right)^{1/N} \quad (4)$$

$$\bar{q} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N q_i \quad (5)$$

$$\bar{\sigma} = \bar{p} \times \bar{q} \quad (6)$$

p_i und q_i sind in Gleichung (3) definiert. N ist die Zahl der ausgewerteten Perioden eines Versuchs. Die Gleichungen gelten sowohl für σ_y als auch für σ_z . Wurden zwei verschiedene Tracer in einem Versuch simultan freigesetzt, so wurden bei der Mittelwertbildung entsprechend viele Perioden berücksichtigt.

4. Klassifizierung der Experimente nach Ausbreitungskategorien

4.1 Jülicher Experimente

Die Jülicher Experimente wurden nach drei verschiedenen Schemata zur Bestimmung der Ausbreitungskategorien klassifiziert.

Diese Verfahren sind /9/ :

- Temperaturgradient und Windgeschwindigkeit
- Strahlungsbilanz und Windgeschwindigkeit
- Synoptische Daten (in Anlehnung an das Schema von Turner).

Im allgemeinen stimmen die drei nach den verschiedenen Verfahren ermittelten Ausbreitungskategorien überein. Andernfalls wurde die zweifach vorkommende Kategorie verwendet. Der Fall, daß alle drei Verfahren unterschiedliche Werte lieferten, wurde nicht beobachtet. In einigen Fällen (Versuche 49, 50, 55), wurden Fluktuationsmessungen als weiteres Hilfsmittel zur Kategorienbestimmung herangezogen.

4.2 Karlsruher Experimente

In Karlsruhe wurde zur Klassifizierung der Experimente nach Ausbreitungskategorien eine Methode zugrunde gelegt, die von der Streuung σ_ϕ der in 100 m Höhe gemessenen vertikalen Windrichtung ausgeht. Neben dieser Methode wurden weitere statistisch äquivalente Verfahren abgeleitet /10/. Korrelationsbetrachtungen dieser Verfahren mit der σ_ϕ -Methode ergaben, daß ein Verfahren, das den Temperaturgradienten und die Windgeschwindigkeit verwendet, im Einzelfall ebenfalls anwendbar ist. Der Korrelationskoeffi-

zient betrug 0,81. Da für die Klassifizierung der Jülicher Experimente die gleichen meteorologischen Größen herangezogen wurden, ist zur Klassifizierung der Karlsruher Experimente analog verfahren worden. Im Vergleich zu dem ursprünglichen Klassifizierungsverfahren nach σ_ϕ ergab sich dadurch bei drei von 19 Experimenten eine Verschiebung der Zuordnung um eine Kategorienstufe.

5. Berechnung der Mittelwerte von Ausbreitungsparametern für die Diffusionskategorien A-F

Für die Berechnung von Mittelwerten der Ausbreitungsparameter σ_y und σ_z für definierte Ausbreitungskategorien existiert kein aus der theoretischen Meteorologie ableitbarer Formalismus. Die Zusammenfassung und Mittelwertbildung erfolgte deshalb unter Berücksichtigung empirischer Korrelationen zwischen den in den Einzelexperimenten gemessenen Ausbreitungsparametern sowie anderer wichtiger Kenngrößen wie Quelldistanz und Höhe des Maximums der zeitintegrierten Konzentration mit den Ausbreitungskategorien.

Bei der Darstellung der verschiedenen Größen als Funktion der Diffusionskategorie K wurde jeder Ausbreitungskategorie auf der Abszisse die Breite 1 zugeordnet. Die Meßwerte sind jeweils der Mitte der so bestimmten Intervalle zugeordnet worden (F: 0,5, E: 1,5 D: 2,5, O: 3,5, B: 4,5, A: 5,5).

Diese äquidistante Einteilung ergab nach den Korrelationsrechnungen den höchsten Korrelationskoeffizienten. In den Abbn. 1-3 ist die Abhängigkeit verschiedener Parameter aller Einzelexperimente von der Diffusionskategorie dargestellt. Es zeigt sich, daß die Quelldistanz $x_{\max}$ des Maximums $\chi_{\max}$ der normierten Konzentration sowie der Exponent q_z des vertikalen Ausbreitungsparameters die besten Korrelationen mit den Ausbreitungskategorien liefert (Abb. 2 und Abb. 3). Diese beiden Größen stellen die Basis zur Berechnung der Mittelwerte der Ausbreitungskoeffizienten p_y, q_y, p_z, q_z wie sie in Gl. (3) definiert

wurden, dar.

Folgende vier Schritte sind hierzu notwendig:

- Bestimmung der Mittelwerte von p_y und q_y durch Korrelation zwischen $\ln(\sigma_y)$ und den Ausbreitungskategorien
- Bestimmung des Mittelwertes der Quelldistanz $x_{\max}$ in Abhängigkeit von den Ausbreitungskategorien
- Berechnung der Mittelwerte von q_z für jede Ausbreitungskategorie
- Berechnung der Koeffizienten p_z aus der Definitionsgleichung für $x_{\max}$.

5.1 Bestimmung der Mittelwerte von p_y und q_y -----y-----y-----

Aus Abb. 1 geht hervor, daß sich die Abhängigkeit des Logarithmus des Ausbreitungsparameters σ_y von der Ausbreitungskategorie K gut durch ein Polynom zweiten Grades in der Form

$$\ln \sigma_y = a \cdot K^2 + b \cdot K + c \quad (7)$$

für jede Quelldistanz x darstellen läßt.

Die Koeffizienten a, b und c werden durch Anpassung an die gemessenen Werte von σ_y ermittelt. Mit ihrer Hilfe werden anschließend für 50 Quelldistanzen die horizontalen Ausbreitungsparameter σ_y ermittelt. Diese Quelldistanzen liegen innerhalb des experimentell erfaßten Entfernungsbereiches.

Mit den Mittelwerten von σ_y für jede Ausbreitungskategorie werden anschließend nach Gl. (3) mittels eines Least-square-fit-Verfahrens die mittleren Koeffizienten p_y und q_y bestimmt.

5.2 Bestimmung des Mittelwertes der Quelldistanz $x_{\max}$ -----max-----

Die Abhängigkeit des $x_{\max}$ von der Kategorie läßt sich am besten durch

$$x_{\max} = e \cdot (KAT^{-f} - KAT^g) \quad (8)$$

mit $KAT=K/6$ beschreiben. Diese Funktion gewährleistet, daß bei extrem stabiler Lage ($K \rightarrow 0$) $x_{\max} \rightarrow \infty$ geht. Andererseits konvergiert $x_{\max}$ für stark labile Lagen ($K \rightarrow 6$) gegen Null (Abb. 3). Die Koeffizienten e , f und g werden ebenfalls mit Hilfe eines Least-square-fit-Verfahrens bestimmt. Schließlich erhält man durch Einsetzen von $K=0,5 \dots 5,5$ die Mittelwerte $x_{\max}(K)$ für die einzelnen Ausbreitungskategorien.

5.3 Berechnung der Mittelwerte von q_z

Wie aus Abb. 2 hervorgeht, läßt sich die Abhängigkeit des Koeffizienten q_z gut als lineare Funktion der Ausbreitungskategorie beschreiben.

$$q_z = m \cdot K + n \quad (9)$$

Die Koeffizienten m und n werden mittels eines Least-square-fit-Verfahrens bestimmt. Anschließend werden die Mittelwerte q_z pro Ausbreitungskategorie durch Einsetzen von $K=0,5 \dots 5,5$ in Gl. (9) ermittelt.

5.4 Berechnung des Koeffizienten p_z

Als letzter noch unbekannter Koeffizient wird p_z aus der Definitionsgleichung für $x_{\max}$ berechnet. Da sich bekanntlich aus der Ausbreitungsgleichung leicht ableiten läßt

$$x_{\max} = \left(\frac{r \cdot H}{p_z} \right)^{1/q_z} \quad (10)$$

mit
$$r = \sqrt{\frac{q_z}{q_y + q_z}}$$

folgt
$$p_z = \frac{r \cdot H}{x_{\max}^{q_z}}$$

In dieser Gleichung sind alle Parameter auf der rechten Seite bekannt, so daß p_z leicht bestimmt werden kann.

Mit den beschriebenen Verfahren sowie den in Tab. 1 angegebenen Werten aus den Einzelexperimenten ergeben sich in Tab. 2 Mittelwerte für die Ausbreitungskoeffizienten p_y , q_y , p_z und q_z sowie die Quelldistanz und die Höhe der Maxima des Kurzzeitausbreitungsfaktors (auf die Einheit der Windgeschwindigkeit sowie der Quellstärke normierte bodennahe Konzentration). Die Abbn. 4-6 zeigen die Quelldistanzabhängigkeit der Ausbreitungsparameter σ_y und σ_z sowie des Kurzzeitausbreitungsfaktors.

6. Diskussion der Ergebnisse

Vergleicht man den Ausbreitungsparametersatz Jülich/Karlsruhe (Abbn. 4,5) mit den anderen Parametersätzen /11/, /12/, so fällt besonders auf, daß das σ_y der Kategorien E und F größer ist als bei der Kategorie D. Dieses Ergebnis wird sowohl durch die Jülicher als auch die Karlsruher Experimente gestützt. Der extrapolierte Ausbreitungsparameter σ_y liefert für die Kategorie F noch größere Werte als für die Kategorie E. Dieser Trend wird durch die Experimente bei Kategorie F mit Quellhöhen von 50 bzw. 60 m bestätigt.

Die hohen σ_y -Werte bei stabilen Kategorien sind auf die starken Windrichtungsschwankungen in Bodennähe zurückzuführen, deren Auswirkungen auf die Konzentrationsverteilung noch durch die bei stark stabiler Schichtung im allgemeinen vorherrschenden niedrigen Windgeschwindigkeiten begünstigt wird. Ausbreitungsbedingungen bei stabiler thermischer Schichtung, wie sie bei anderen Experimentreihen gefunden wurden, treten nur selten auf und können somit nicht als typisch angesehen werden.

Für einen quantitativen Vergleich der Ergebnisse der Jülich/Karlsruher Experimente mit Parametersätzen aus anderen Experimentreihen kommen die St. Louis- /11/ und die Brookhavensätze /12/ in Frage. Bei beiden lagen den Experimentierfeldern ähnliche Bodenrauhigkeiten zugrunde wie in Karlsruhe und Jülich.

In /11/ und /12/ wurden Ausbreitungsparameter nur für 4 Diffusionskategorien ermittelt. In beiden Experimentreihen wurde die stark labile Diffusionskategorie A nicht erfaßt. In St. Louis verhinderte der Wärmeinseleffekt der Stadt die Ausbildung stark stabiler Ausbreitungsbedingungen. Nachtversuche wurden nicht durchgeführt. Infolgedessen fehlt die Diffusionskategorie F. In Brookhaven fallen die erfaßten stabilen Lagen in Diffusionskategorie F, so

daß Ausbreitungsparameter entsprechend Kategorie E nicht angegeben werden. Durch die Küstenlage von Brookhaven ergeben sich Stabilisierungstendenzen, die in Jülich und Karlsruhe nicht auftreten.

Mit den ebenfalls weit verbreiteten Parametersätzen von Pasquill /13/ bzw. Klug /14/ lassen sich die Jülich/Karlsruher Werte dagegen nicht unmittelbar vergleichen. Die Sätze nach Pasquill bzw. Klug wurden aus Experimenten abgeleitet, die mit einer Bodenquelle und über Untergrund mit geringer Rauigkeit ($< 0,01$ m) durchgeführt wurden, wobei die Emissionsdauer einige Minuten betrug.

Ein Vergleich mit den Ergebnissen von St. Louis wurde mit dem Betrag $x_{\max}$ und der Quellenentfernung $x_{\max}$ des Maximums der normierten Konzentrationsverteilung durchgeführt. Beide Werte, die bei der Anwendung der Ausbreitungsparameter eine wesentliche Rolle spielen, sind in Tab. 3 aufgelistet. Um den Vergleich zu ermöglichen, wurden die nach unterschiedlichen Definitionen bestimmten Ausbreitungskategorien der verschiedenen Systeme einander zugeordnet.

Die Quelldistanzen des Maximums der Konzentration stimmen bei den Kategorien B bis E zwischen Jülich/Karlsruhe und St. Louis gut überein. Zwischen Jülich/Karlsruhe und Brookhaven besteht dagegen nur für die schwach labile Kategorie C eine befriedigende Übereinstimmung. Bei den Kategorien D und F befindet sich das Maximum der Konzentrationen nach den Brookhaven-Parametersätzen wesentlich weiter von der Quelle entfernt als nach der Jülich/Karlsruher Experimentreihe. Bei den Beträgen des normierten Konzentrationsmaximums fällt auf, daß bei dem System von Jülich/Karlsruhe der höchste Wert bei der Kategorie C und nicht wie nach den anderen beiden Sätzen bei Kategorie B auftritt. Für die Maximalwerte $x_{\max}$ ist die Übereinstimmung nur für die Kategorien C und D mit den entsprechenden Werten der anderen Sätze befriedigend. Bei den Kategorien B, E und F liefern die Experimente in Jülich und Karlsruhe

deutlich kleinere Maximalwerte. Ursache für diese Unterschiede sind die σ_y -Parameter, die im Stabilen (Kategorie E und F) und im Labilen (Kategorie B und C) größer sind als bei den zum Vergleich herangezogenen Parametersätzen.

Größere Unterschiede ergeben sich auch beim Vergleich der über alle Windrichtungen integrierten Langzeitausbreitungsfaktoren wie sie nach /3/ mit der Jülicher Ausbreitungsstatistik berechnet wurden (Abb. 7 und Tab. 4). Die Quelldistanzen der Maxima unterscheiden sich für die Datensätze von St. Louis und Brookhaven kaum (bei Brookhaven liegt allerdings ein sehr breites Maximum vor), während das Maximum für den Jülich/Karlsruher Datensatz um fast den Faktor zwei weiter von der Quelle entfernt ist. Der Betrag des Maximums liegt für Jülich/Karlsruhe um etwa 40 % über dem Wert von Brookhaven aber nur halb so hoch wie derjenige nach St. Louis. Für größere Quelldistanzen stimmen die Langzeitausbreitungsfaktoren nahezu überein.

7. Abschließende Bemerkungen

Durch die Zusammenfassung der Ergebnisse der Jülicher und Karlsruher Experimente basieren die daraus abgeleiteten Ausbreitungsparametersätze auf einer großen Zahl von Experimenten. Da die an beiden Orten herrschenden meteorologischen Bedingungen ein breites Spektrum abdecken, sind die Parametersätze auch für andere Standorte in der Bundesrepublik repräsentativ, falls deren Umgebung vergleichbare Bodenrauigkeiten aufweist. Bei Standorten mit wesentlich geringeren Rauigkeiten, die seltener vorkommen, führen die Parameter zu konservativ abgeschätzten Maximalkonzentrationen. Um in Zukunft auch für diese Standorte realistischere Ausbreitungsrechnungen durchführen zu können, sind Experimente bei Standorten mit geringer Bodenrauigkeit wünschenswert.

Literaturverzeichnis

- /1/ Verordnung über den Schutz vor Schäden durch ionisierende Strahlen (Strahlenschutzverordnung - StrlSchV)
vom 13. Oktober 1976, BGBl. Teil I, Nr. 125 (1976)
- /2/ Vogt, K.J.
Ergebnisse der Jülicher Ausbreitungsexperimente für 50 und 100 m Emissionshöhe
ZST-Bericht Nr. 240 (1976)
- /3/ Allgemeine Berechnungsgrundlagen für die Strahlenexposition bei radioaktiven Ableitungen mit der Abluft oder in Oberflächengewässer.
Richtlinie zu § 45 StrlSchV, Gem. Ministerialblatt, ISSN 0341-1435, August 1979
- /4/ Nester, K., Thomas, P.
Im Kernforschungszentrum Karlsruhe experimentell ermittelte Ausbreitungsparameter für Emissionshöhen bis 195 m
Staub, Reinh. Luft, 39, 231 (1979)
- /5/ Vogt, K.J., Geiß, H., Polster, G.
New Sets of Diffusion Parameters Resulting from Tracer Experiments in 50 and 100 Meters Release Height
9th International Technical Meeting on Air Pollution Modeling and its Application, 28./31. Aug. 1978, Toronto
- /6/ Thomas, P. et al.
Experimental Determination of the Atmospheric Dispersion Parameters over Rough Terrain. Part 1, Measurements at the Karlsruher Nuclear Research Center.
KfK 2285 (1976)
- /7/ Thomas, P., Nester, K.
Experimental Determination of the Atmospheric Dispersion Parameters over Rough Terrain. Part 2, Evaluation of Measurements.
KfK 2286 (1976)

- /8/ Geiß, H., Vogt, K.J.
Statistischer Vergleich der von den Kernforschungsanlagen
Jülich und Karlsruhe ermittelten Sätze von Ausbreitungs-
parametern für 100 m Emissionshöhe
Abschlußbericht zum Forschungsvertrag 936/617 104 des
TÜV-Rheinland, im Rahmen des Forschungsvorhabens
77/104 02 414 des Umweltbundesamtes
- /9/ Vogt, K.J., et al.
Ausbreitung und Ablagerung
Jül-807-ST (1971)
- /10/ Dilger, H., Nester, K.
Aufstellung und Vergleich verschiedener Schemata zur Be-
stimmung von Ausbreitungskategorien
Met. Rundschau, 28, 12 (1975)
- /11/ McElroy, J.
A Comparative Study of Urban and Rural Dispersion
J. of Appl. Met. 8, Nr. 1, S. 19-31 (1969)
- /12/ Singer, I.A., Smith, M.E.
An Improved Method of Estimating Concentrations and Re-
lated Phenomena from a Point Source Emission
J. of Appl. Met. 5, S. 631-639 (1966)
- /13/ Pasquill, F.
Atmospheric Diffusion
London, von Nostrand (1968)
- /14/ Klug, W.
Ein Verfahren zur Bestimmung von Ausbreitungsbedingungen
aus synoptischen Beobachtungen
Staub Reinh. Luft 29, 143 (1968)
- /15/ Thomas, P. et al.
Experimental Determination of the Atmospheric Dispersion
Parameters at the Karlsruhe Nuclear Research Center for
60 m and 100 m Emission Heights. Part 1: Measured Data.
KfK 3090 (1981)

/16/ Thomas, P., Nester, K.

Experimental Determination of the Atmospheric Dispersion
Parameters at the Karlsruhe Nuclear Research Center for
60 m and 100 m Emission Heights. Part 2: Evaluation of
Measurements

KfK 3091 (1981)

Tabelle 1: Zusammenfassung der Einzelergebnisse der Jülicher und Karlsruher Ausbreitungsexperimente mit 100 m Emissionshöhe (Diffk: Diffusionskategorie, p_y , q_y , p_z , q_z : Ausbreitungskoeffizienten, $x_{\max}$ (m): Quelledistanz des Maximums, $x_{\max}$ (m^{-2}): Wert des Maximums)

Versuch	Diffk	p_y	q_y	p_z	q_z	$x_{\max}$	$x_{\max}$
49J	6	0.1438	1.0770	0.2403	0.9769	328	2.19E-05
50J	6	0.0743	1.1410	0.0698	1.2530	255	4.09E-05
9K	6	0.2190	1.0400	0.0165	1.4500	337	1.90E-05
19K	6	1.5900	0.7600	0.0659	1.4700	127	2.92E-05
47K	6	0.2450	1.5600	7.7700	0.4530	54	5.85E-06
74J	5	0.3220	0.9516	0.1258	1.1412	267	2.63E-05
28J	5	2.0010	0.6836	0.0639	1.1720	437	1.42E-05
41J	5	0.4289	0.9267	0.1089	1.1000	374	1.65E-05
60J	5	0.1909	0.9663	0.0051	1.4890	645	1.81E-05
61J	5	3.2580	0.5964	0.0124	1.3470	694	1.15E-05
62J	5	0.1271	1.0880	0.0109	1.3660	642	1.21E-05
66J	5	0.2270	0.9700	0.1550	1.0200	410	2.16E-05
68J	5	0.2270	0.9700	0.1550	1.0200	410	2.16E-05
70J	5	1.5400	1.0750	0.2588	0.9095	455	1.42E-06
10K	5	0.0357	1.2600	0.0009	1.8100	530	1.84E-05
18K	5	0.0833	1.3200	1.3400	0.6360	364	5.99E-06
20K	5	1.7700	0.7760	0.0038	1.6500	425	9.55E-06
29J	4	2.1290	0.6408	0.0149	1.3100	717	1.28E-05
30J	4	0.8962	0.7985	0.1265	0.9130	1058	7.32E-06
48J	4	0.0245	1.2280	0.8286	0.6917	489	2.70E-05
51J	4	3.3350	0.5777	1.1010	0.6659	546	1.34E-05
53J	4	1.0370	0.7527	2.2920	0.5024	738	9.65E-06
67J	4	0.2192	1.0040	0.0556	1.1080	647	1.16E-05
69J	4	0.3096	0.8860	0.0897	1.0320	664	1.75E-05
11K	4	6.5400	0.4120	0.0233	1.2800	618	2.05E-05
14K	4	1.1200	0.6710	0.1520	0.9500	699	1.95E-05
17K	4	5.6900	0.4440	0.1110	1.0200	660	1.83E-05
34K	4	0.2420	0.8640	0.0073	1.4300	662	2.73E-05
22J	3	0.0984	1.0810	0.9864	0.6427	613	1.34E-05
23J	3	0.3417	0.9255	0.0119	1.3660	618	1.36E-05
24J	3	0.2019	0.8897	0.4080	0.7412	983	1.69E-05
25J	3	0.1341	0.9478	1.8420	0.5285	725	1.91E-05
26J	3	0.1040	0.9672	0.5419	0.6809	1112	1.61E-05
27J	3	0.2458	0.8694	0.1348	0.9422	787	2.09E-05
54J	3	14.2100	0.3163	0.0096	1.3230	1004	1.51E-05
73J	3	0.9890	0.7075	1.2720	0.6038	725	1.52E-05
75J	3	0.1979	0.9004	0.2054	0.8733	796	2.03E-05
15K	3	2.9800	0.5410	0.0954	1.0200	742	1.72E-05
24K	3	0.5900	0.7610	0.0461	1.1400	675	2.13E-05
25K	3	0.2270	0.9460	0.1370	0.9200	882	1.18E-05
44K	3	3.7000	0.5570	0.6300	0.6840	1067	9.62E-06
45K	3	0.3190	0.8600	0.0356	1.2300	513	2.60E-05
55J	2	5.4710	0.6034	2.4060	0.4796	1015	4.34E-06
58J	2	1.1160	0.7777	0.6426	0.5739	3130	2.58E-06
59J	2	1.3200	0.6363	1.0000	0.5577	1949	9.76E-06
23K	2	2.3200	0.7340	0.7330	0.6080	1693	2.89E-06
43K	2	3.7800	0.4800	1.8200	0.4940	1674	1.25E-05
48K	2	1.7400	0.8580	3.1000	0.4020	1367	1.38E-06
50K	2	0.0009	1.8200	0.7710	0.5240	2579	4.94E-07
51K	2	0.0502	1.3200	2.3700	0.4020	1808	7.74E-07

Tabelle 2: Mittlere Ausbreitungskoeffizienten p_y , q_y , p_z , q_z sowie Quelldistanz und Wert des Maximums der normierten Konzentration für die Diffusionskategorien A-F

Diffusions- kategorien	A	B	C	D	E	F
p_y	0.170	0.324	0.466	0.504	0.411	0.253
q_y	1.296	1.025	0.866	0.818	0.882	1.057
p_z	0.051	0.070	0.137	0.265	0.487	0.717
q_z	1.317	1.151	0.985	0.818	0.652	0.486
$x_{\max}$ (m)	244	418	586	925	1827	7876
$x_{\max}$ (m ⁻²)	$7.89 \cdot 10^{-6}$	$1.08 \cdot 10^{-5}$	$1.47 \cdot 10^{-5}$	$1.23 \cdot 10^{-5}$	$4.86 \cdot 10^{-6}$	$3.49 \cdot 10^{-7}$

Tabelle 3: Vergleich der Quelldistanz $x_{\max}$ und des Betrages $\chi_{\max}$ des Maximums der normierten Konzentration (Quellhöhe 100 m)

Kategorie	Jülich/Karlsruhe		St. Louis		Brookhaven	
	$x_{\max}$ (km)	$\chi_{\max}$ (m^{-2})	$x_{\max}$ (km)	$\chi_{\max}$ (m^{-2})	$x_{\max}$ (km)	$\chi_{\max}$ (m^{-2})
A	0,24	$7,89 \cdot 10^{-6}$	-	-	-	-
B	0,42	$1,08 \cdot 10^{-5}$	0,45	$1,42 \cdot 10^{-5}$	0,29	$2,40 \cdot 10^{-5}$
C	0,59	$1,47 \cdot 10^{-5}$	0,68	$1,26 \cdot 10^{-5}$	0,51	$2,15 \cdot 10^{-5}$
D	0,92	$1,23 \cdot 10^{-5}$	1,09	$1,08 \cdot 10^{-5}$	1,64	$1,61 \cdot 10^{-5}$
E	1,83	$4,86 \cdot 10^{-6}$	2,21	$1,11 \cdot 10^{-5}$	-	-
F	7,88	$0,35 \cdot 10^{-6}$	-	-	21,17	$0,45 \cdot 10^{-5}$

Tabelle 4: Vergleich der Quelldistanz $x_{\max}$ und des Betrages $\hat{\chi}_{\max}$ des Maximums des über alle Windrichtungen integrierten Langzeitausbreitungsfaktors, gerechnet mit der Jülicher Ausbreitungsstatistik

	$x_{\max}$ (m)	$\hat{\chi}_{\max}$ (s/m^3)
Jülich/Karlsruhe	660	$1,44 \cdot 10^{-6}$
St. Louis	380	$2,75 \cdot 10^{-6}$
Brookhaven	360	$1,04 \cdot 10^{-6}$

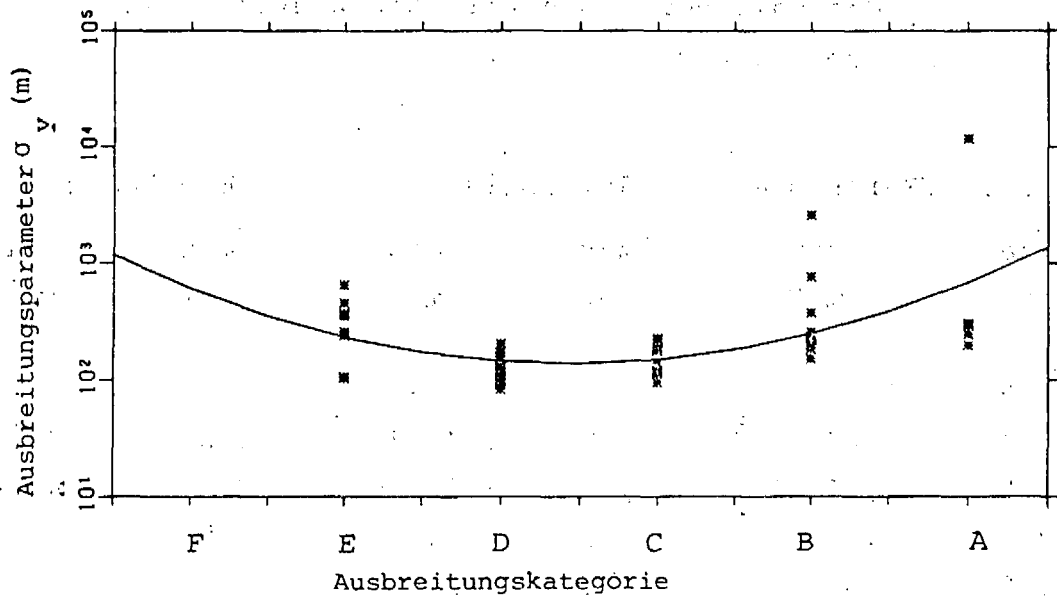


Abb. 1 Abhängigkeit des horizontalen Ausbreitungsparameters σ_y von der Ausbreitungskategorie für eine Quelldistanz von 1000 m

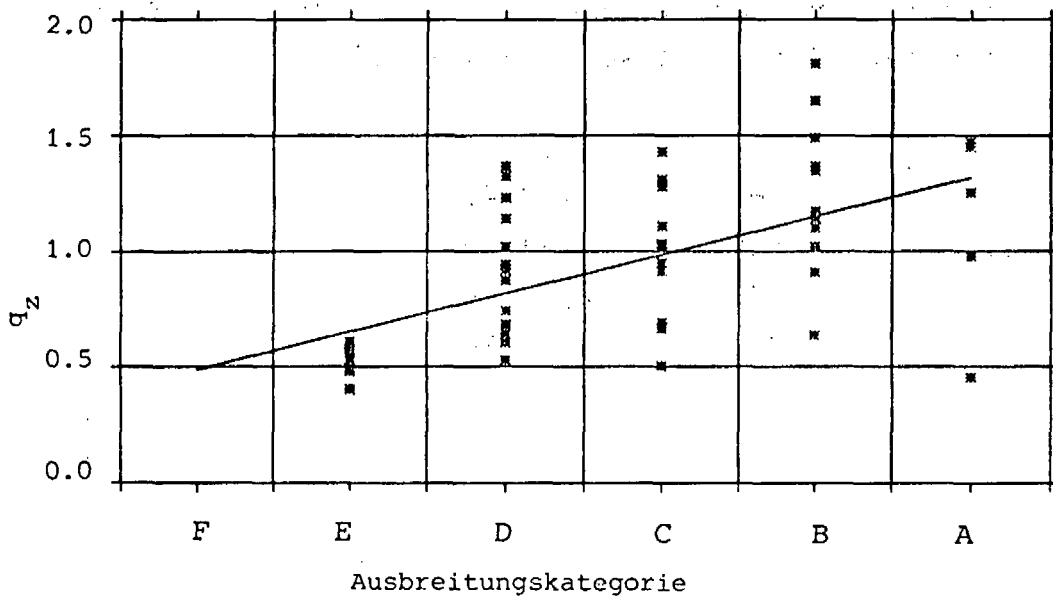


Abb. 2 Abhängigkeit des Koeffizienten q_z von der Ausbreitungskategorie

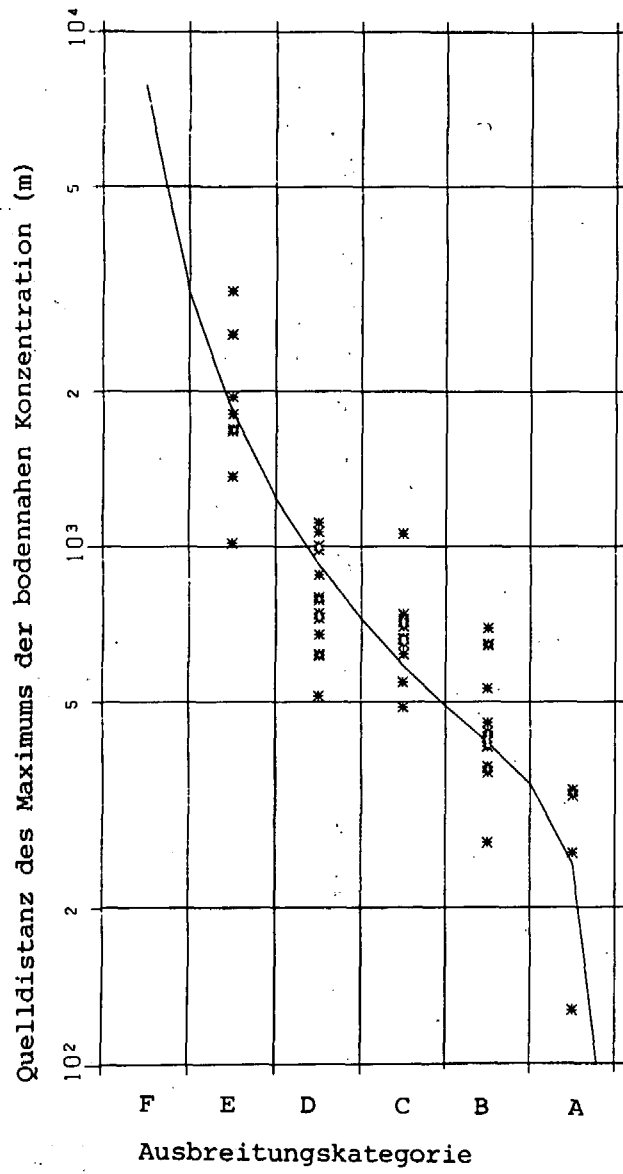


Abb. 3 Abhängigkeit der Quelldistanz des Maximums der bodennahen Konzentration von der Ausbreitungskategorie

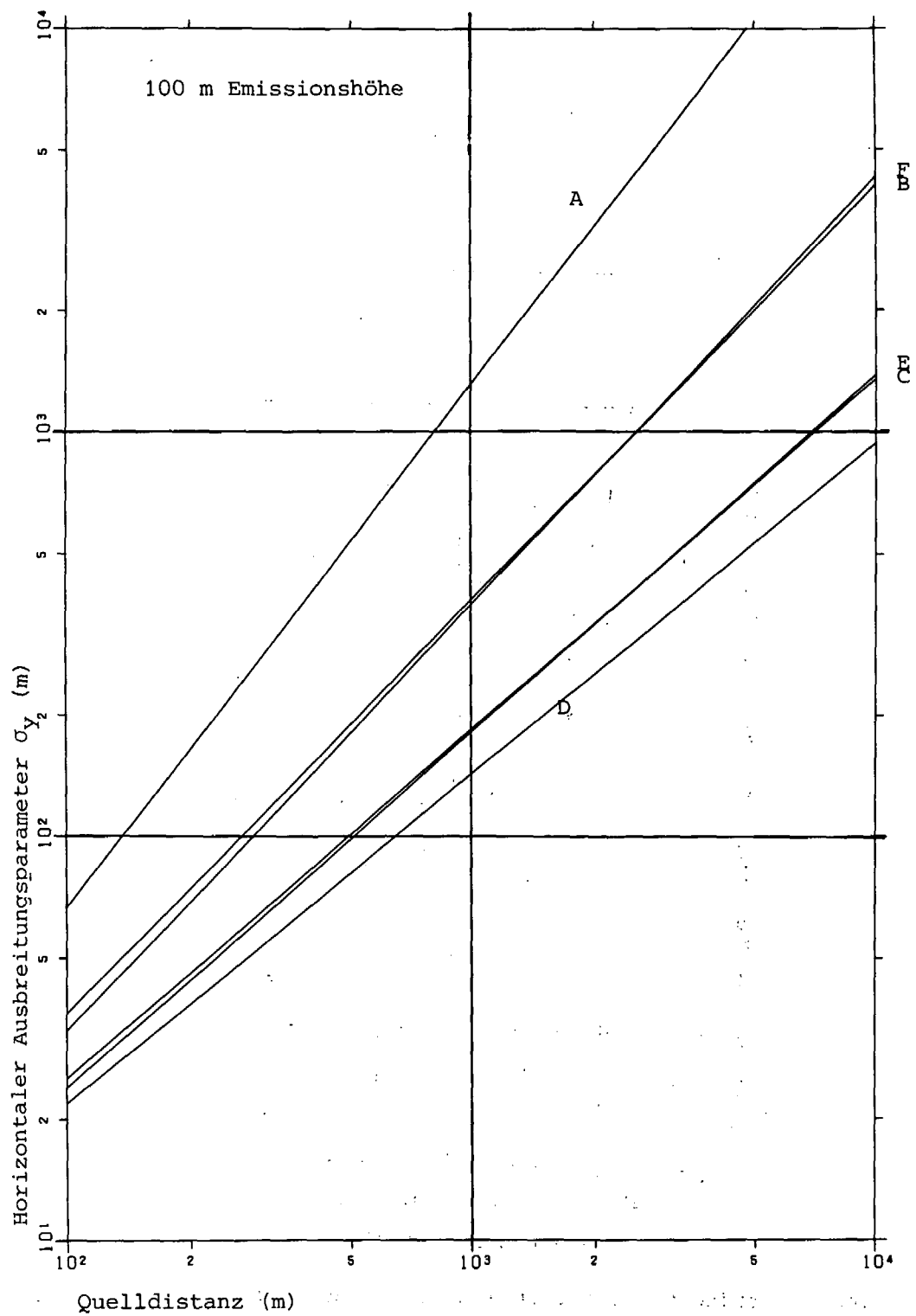


Abb. 4 Quelldistanzabhängigkeit des horizontalen Ausbreitungsparameters $\sigma_y(x)$ für die Kategorien A-F

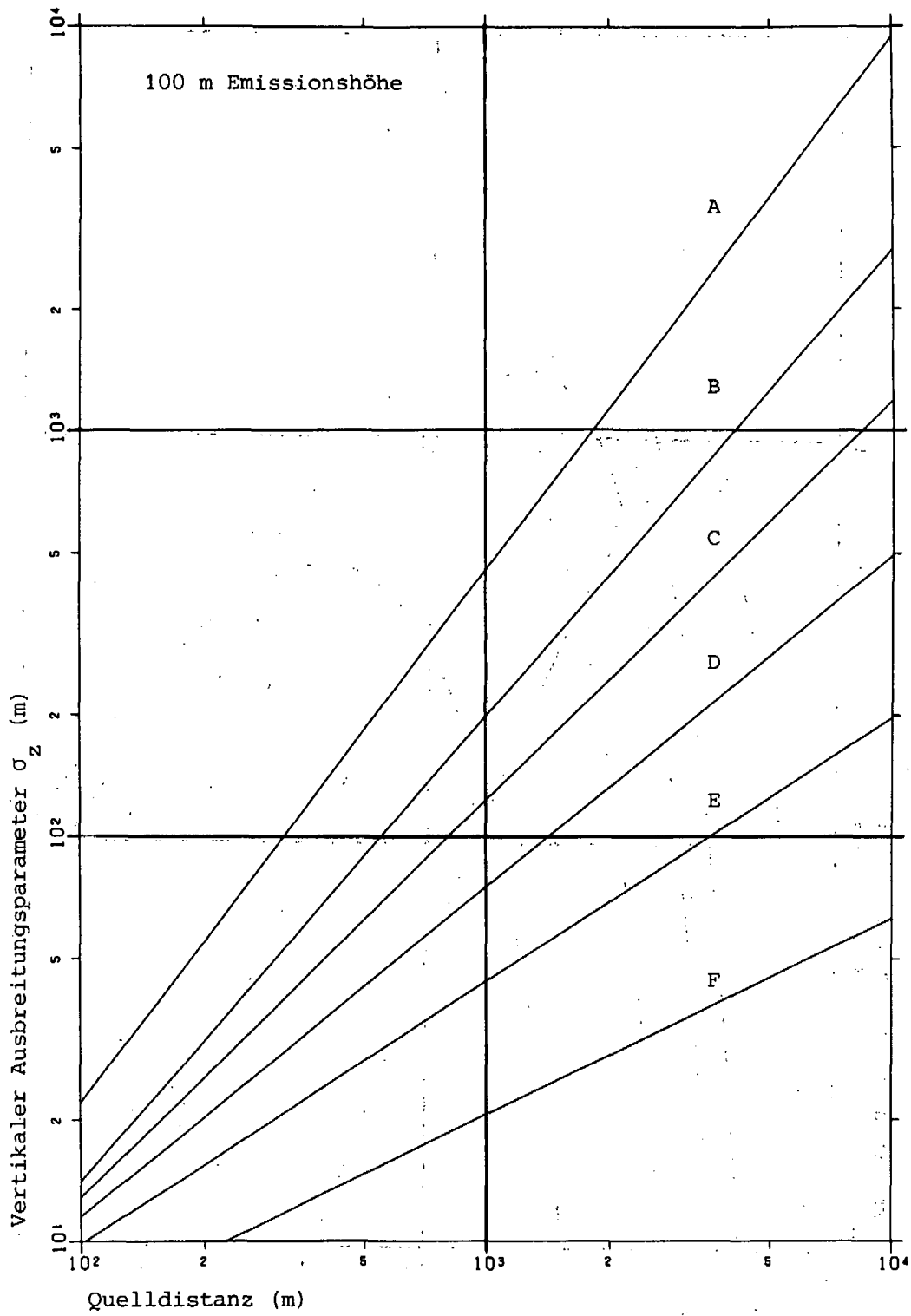


Abb. 5 Quelldistanzabhängigkeit des vertikalen Ausbreitungsparameters $\sigma_z(x)$ für die Kategorien A-F

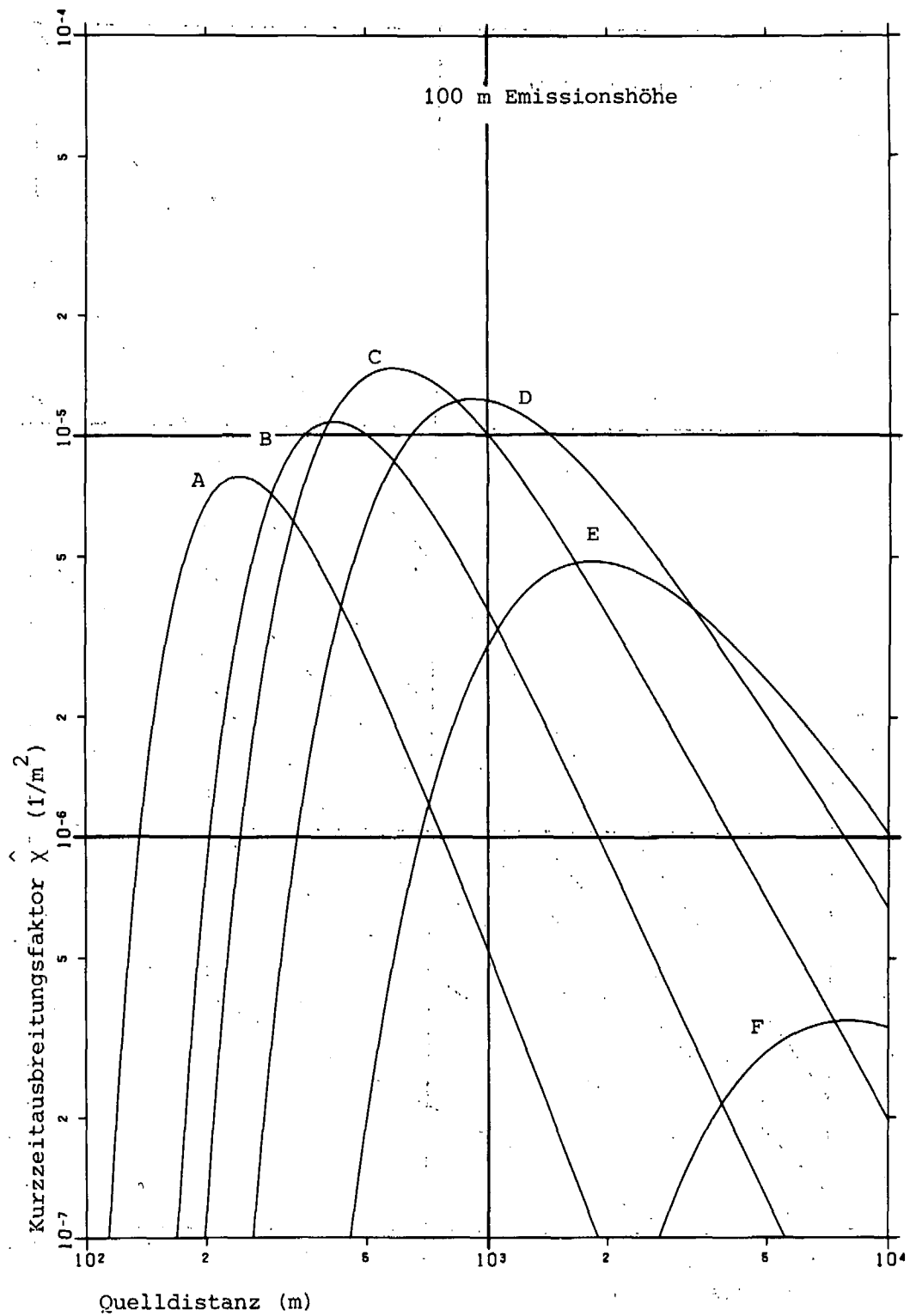


Abb. 6 Quelldistanzabhängigkeit des auf die Quellstärke und die Windgeschwindigkeit normierten Ausbreitungsfaktors $\chi^2(x)$ für die Kategorien A-F

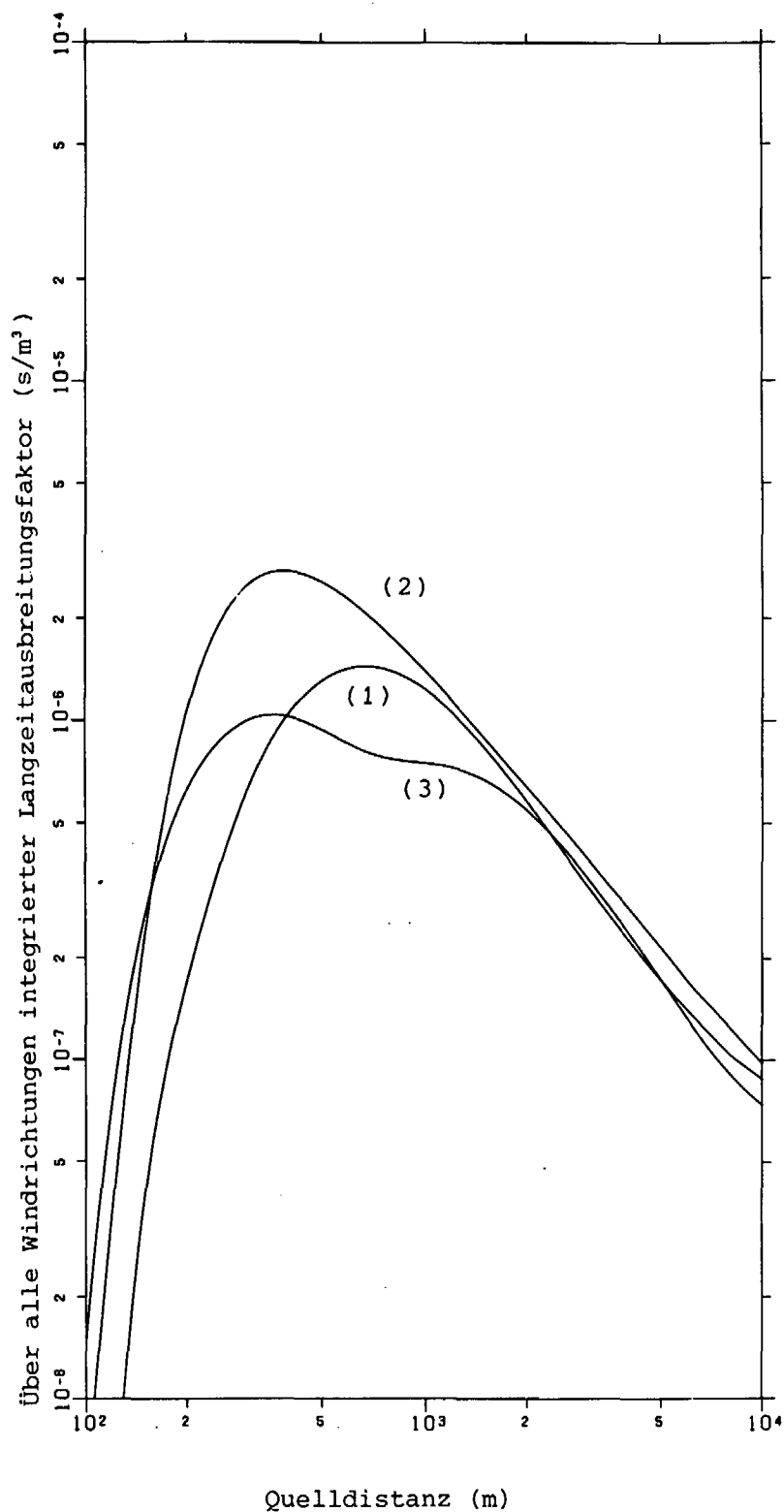


Abb. 7 Vergleich der mit den Ausbreitungsparametersystemen von Jülich/Karlsruhe (1), St. Louis (2) und Brookhaven (3) berechneten über alle Windrichtungen integrierten Langzeitausbreitungsfaktoren für eine Emissionshöhe von 100 m (berechnet mit der Ausbreitungsstatistik von Jülich)