

# LIS-Berichte

**Nr. 76**

**Eine vereinfachte  
Methode zur  
Immissionssimulation**

**Herausgeber:**

**Landesanstalt für Immissionsschutz**

**des Landes Nordrhein-Westfalen**

**Wallneyer Straße 6**

**D 4300 Essen 1**

**1988**

**ISSN 0720-8499**

Eine vereinfachte Methode  
zur Immissionssimulation

Josef Giebel

## EINE VEREINFACHTE METHODE ZUR IMMISSIONSSIMULATION

Josef Giebel

Z u s a m m e n f a s s u n g

Das Ausbreitungsmodell nach TA Luft gilt für Quellentfernungen zwischen 100 m und etwa 15 km. Um damit Immissionssimulationen bis 100 km Quellentfernung durchführen zu können, wurden

- die Diffusionsparameter  $\sigma_z$  für die Ausbreitung in der Vertikalen in Abhängigkeit von der Mischungsschichthöhe begrenzt und
- die Transportgeschwindigkeit in Abhängigkeit von  $\sigma_z$  mit zunehmender Quellentfernung erhöht.

Mit Hilfe des auf die beschriebene Weise erweiterten Ausbreitungsmodells wurden Diagramme erstellt, denen

a)  
in Abhängigkeit von effektiver Quellhöhe, Ausbreitungsklasse und Quellentfernung die auf eine Emission von 1 mg/s und eine Windgeschwindigkeit von 1 m/s in Anemometerniveau normierte Bodenkonzentration unterhalb der Abgasfahne sowie

b)  
in Abhängigkeit von Schornsteinbauhöhe, Abgasvolumenstrom, Temperatur der Abgase und Quellentfernung der auf eine Emission von 1 mg/s normierte Jahresmittelwert sowie das 95- und 98-Perzentil der Häufigkeitsverteilung der Immissionsbelastung

entnommen werden kann.

Die Immissionssimulationen wurden für die Quellentfernungen zwischen 100 m und 100 km durchgeführt. Bei den Immissionssimulationen zu b) wurden die meteorologischen Parameter von Bocholt verwendet.

Die Konzentrationskurven wurden soweit notwendig geglättet, die Anwendung der Diagramme an einem Beispiel erläutert.

Des weiteren wurden Diagramme erstellt, denen in Abhängigkeit von den Emissions- und meteorologischen Parametern die Abgasfahnenüberhöhung entnommen werden kann.

Das Ausbreitungsmodell nach TA Luft wurde beschrieben, insbesondere sind die Voraussetzungen für seine Anwendung, die einzugebenden Parameter sowie das Ausbreitungsklassenschema nach TA Luft angegeben.

#### S u m m a r y

The dispersion model provided by the "Technical Directives for Air Quality Conservation" (TA Luft) pertains to distances from the source of 100 m to approx. 15 km. In order to apply the model for simulating dispersion to distances up to 100 km from the source

- the diffusion parameters  $\sigma_z$  describing vertical dispersion were confined in accordance with the depth of the mixing layer and
- the transport velocity was increased in dependence to  $\sigma_z$  with increasing distance from the source.

With the dispersion model expanded as explained diagrams were obtained providing

a)

the ground-level concentration under the plume as function of effective stack height, stability class and distance from the source for an emission of 1 mg/s at a wind speed of 1 m/s in anemometer-level as well as

b)

the annual average concentration and the 95- and 98-percentiles of the frequency distribution of ambient pollutant concentrations, normalized to an emission of 1 mg/s, as function of stack height, flow volume of waste gas, temperature of the waste gases and distance from the source.

Dispersion was simulated for distances from the source of 100 m to 100 km. For the simulations to obtain the results b) the meteorological parameters of the city of Bocholt (in North-Rhine-Westphalia, West Germany) were used.

The concentration curves were smoothed as far as necessary. The use of the diagrams is explained by an example.

In addition, diagrams are presented showing plume rise due to buoyancy as function of emission- and meteorological parameters.

The dispersion model contained in the TA Luft is discussed with regard to the conditions to which it can be applied; the input parameters and stability classes are listed according to TA Luft.

## 1. Einleitung

Das Ausbreitungsmodell nach TA Luft [1], dessen Eigenschaften einschließlich der Methode der Berechnung der Abgasfahnenüberhöhung zunächst erläutert werden, wurde durch Begrenzung der  $\sigma_z$ -Parameter und Erhöhung der Transportgeschwindigkeit an die Quellentfernungen zwischen 15 und 100 km angepaßt. Mit dem erweiterten Ausbreitungsmodell wurden dann für unterschiedliche Emissions- und meteorologische Parameter Immissionssimulationen durchgeführt und das Ergebnis in Diagrammen dargestellt.

Den Diagrammen ist die mit wachsender Quellentfernung zu erwartende Immissionszusatzbelastung in Abhängigkeit von den Emissions- und meteorologischen Parametern zu entnehmen. Die Diagramme können damit zu Immissionssimulationen herangezogen werden, ohne daß umfangreiche Rechnungen erforderlich sind.

## 2. Eigenschaften des GAUSSschen Ausbreitungsmodells nach TA Luft [1]

### 2.1. GAUSSsche Abgasfahngleichung

Das am meisten verwendete Ausbreitungsmodell beruht auf der GAUSSschen Abgasfahngleichung, welche eine zweidimensionale Gaußverteilung der Schadstoffe in der Horizontalen und Vertikalen senkrecht zur Windrichtung annimmt.

Die GAUSSsche Ausbreitungsgleichung gemäß TA Luft, die den in der Anlage enthaltenen Diagrammen zugrunde liegt, lautet:

$$c(x,y,z) = \frac{1}{2\pi} \frac{Q}{u_h \sigma_y \sigma_z} \exp - \frac{y^2}{2\sigma_y^2} \left( \exp - \frac{(z-h)^2}{2\sigma_z^2} + \exp - \frac{(z+h)^2}{2\sigma_z^2} \right) \quad (\text{Gl. 1})$$

In der Gleichung bedeuten:

- |   |  |   |
|---|--|---|
| x | : Quellentfernung windabwärts in m                 | (Koordinaten der Punkte,<br>für die die Immissionskonzentration berechnet wird) |
| y | : seitlicher Abstand von der Abgasfahnenachse in m |   |
| z | : Höhe über Boden in m                             |   |

- $c(x,y,z)$  : Massenkonzentration der Luftverunreinigung unterhalb der Abgasfahnenachse in der Höhe  $z$  in der Quellentfernung  $x$  bei einem seitlichen Abstand  $y$  von der Abgasfahnenachse als Stundenmittelwert in  $\text{mg pro m}^3$
- $Q$  : Emissionsmassenstrom des emittierten luftverunreinigenden Stoffes aus der Emissionsquelle in  $\text{mg/s}$
- $h$  : effektive Quellhöhe in  $\text{m}$  (setzt sich aus Schornsteinbauhöhe und Abgasfahnenüberhöhung zusammen)
- $\sigma_y, \sigma_z$  : durch Außenmessungen bestimmte horizontale und vertikale Ausbreitungsparameter in  $\text{m}$
- $u_h$  : Windgeschwindigkeit in der Höhe der effektiven Quellhöhe in  $\text{m/s}$

## 2.2. Voraussetzungen für die Anwendung der GAUSSschen Abgasfahngleichung

Um das hier beschriebene GAUSSmodell anwenden zu können, müssen bestimmte Voraussetzungen erfüllt sein. Andernfalls sind mehr oder weniger große Abweichungen zu erwarten. Diese Voraussetzungen werden im folgenden genannt:

- Bei den Emissionen handelt es sich entweder um Gase oder um Stäube, die keine nennenswerte Sinkgeschwindigkeit aufweisen (Korngröße kleiner etwa  $10 \mu\text{m}$  aerodynamischer Durchmesser).
- Die Emissionen sind hinsichtlich ihrer Menge und ihrer Austrittseigenschaften über eine Zeitspanne konstant, die länger ist als die Zeit, in der die Schadstoffe von der Quelle zum Immissionsort transportiert werden.
- Die Emissionen unterliegen während der Ausbreitung keinen wesentlichen physikalischen oder chemischen Veränderungen, andernfalls müssen diese durch spezielle Modelle berücksichtigt werden.
- Das Ausbreitungsgelände ist eben und die Ausbreitung wird nicht entscheidend durch Bebauung oder Bewuchs gestört.
- Der Stundenmittelwert der Windgeschwindigkeit ist größer als  $1 \text{ m/s}$ .
- Die Quellentfernungen, für welche die Immissionskonzentrationen berechnet werden, betragen wenigstens  $100 \text{ m}$  und höchstens  $100 \text{ km}$ . Für Quellentfernungen unterhalb von  $100 \text{ m}$  ist eine Anwendung des GAUSSmodells möglich, wenn es an diese Entfernungen angepaßt wird.

### 2.3. Ausbreitungsparameter $\sigma_y$ und $\sigma_z$ nach TA-Luft

Die weltweite Verwendung der GAUSSschen Abgasfahngleichung beruht auf ihrer Kombination mit experimentell bestimmten Ausbreitungsparametern. Diese Parameter stellen die Standardabweichungen der Konzentrationsverteilungen dar. Sie sind ein Maß für die Intensität der atmosphärischen Turbulenz oder Stabilität, die bestimmt, ob eine Abgasfahne eng gebündelt bleibt oder sich windabwärts von der Quelle rasch verbreitert.

Die Ausbreitungsparameter  $\sigma_y$  und  $\sigma_z$  sind Funktionen der Entfernung  $x$  von der Quelle. Sie liegen nach TA-Luft für sechs verschiedene Ausbreitungsklassen und für effektive Quellhöhen von mehr als 150 m, 100 m und unterhalb von 50 m vor. Für effektive Quellhöhen zwischen 50 und 100 sowie zwischen 100 und 150 m erfolgt eine logarithmische Interpolation für die Koeffizienten und eine lineare Interpolation für die Exponenten. Bei der logarithmischen Interpolation werden die Koeffizienten durch Logarithmen dargestellt.

### 2.4. Ausbreitungsklassenschema nach TA Luft

Die Ausbreitungsparameter sind sechs verschiedenen Ausbreitungsklassen zugeordnet, welche den verschiedenen Turbulenzzuständen der Atmosphäre labil, neutral und stabil entsprechen. Das in der TA Luft angegebene Ausbreitungsklassenschema stellt den Schlüssel zu den Ausbreitungsklassen dar und beruht auf synoptischen Wetterbeobachtungen. Maßgebend sind Windgeschwindigkeit und Wolkenbedeckung sowie Tages- und Jahreszeit.

Wolkenbedeckung, Tages- und Jahreszeit sind ein Maß für die Sonneneinstrahlung und damit für die thermische Turbulenz. Die Windgeschwindigkeit bestimmt die mechanische Turbulenz. Bei Windgeschwindigkeiten oberhalb von etwa 5 bis 6 m/s kann sich keine thermische Turbulenz entwickeln.

Zur Bestimmung der Ausbreitungssituation wird dem Schema die Ausbreitungsklasse für die Tages- bzw. die Nachtstunden in Abhängigkeit von Windgeschwindigkeit und Wolkenbedeckung entnommen. In vielen Fällen sind dann noch Korrekturen vorzunehmen. Änderungen sind z.B. für die Zeit bis zu drei Stunden nach Sonnenauf- und -untergang erforderlich. Es wird dann zum Teil die nächstniedere bzw. die nächsthöhere Klasse gewählt, weil die in der Nacht bzw. am Tage vorhandenen Turbulenzverhältnisse während dieser Zeit noch bis zu einem gewissen Grad andauern.

Im folgenden ist der Schlüssel zu den Stabilitätsklassen nach TA-Luft angegeben:

Tabelle 1: Schema zur Bestimmung der Ausbreitungsklassen

Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe in Knoten (2 Knoten = 1 m/s)	Gesamtbedeckung in Achteln <sup>*)</sup>				
	für Nachtstunden <sup>**)</sup>		für Tagesstunden <sup>**)</sup>		
	0/8 bis 6/8	7/8 bis 8/8	0/8 bis 2/8	3/8 bis 5/8	6/8 bis 8/8
2 und darunter	I	II	IV	IV	IV
3 und 4	I	II	IV	IV	III/2
5 und 6	II	III/1	IV	IV	III/2
7 und 8	III/1	III/1	IV	III/2	III/2
9 und darüber	III/1	III/1	III/2	III/1	III/1

\*) Bei den Fällen mit einer Gesamtbedeckung, die ausschließlich aus hohen Wolken (Cirren) besteht, ist von einer um 3/8 erniedrigten Gesamtbedeckung auszugehen

\*\*) Für die Abgrenzung sind Sonnenaufgang und -untergang (MEZ) maßgebend. Die Ausbreitungsklasse für Nachtstunden wird noch für die auf den Sonnenaufgang folgende volle Stunde eingesetzt

Die so bestimmten Ausbreitungsklassen werden zur Berücksichtigung besonderer Ausbreitungsverhältnisse wie folgt geändert:

a)

Ergeben sich in den Monaten Juni bis August für die Stunden zwischen 10.00 und 16.00 MEZ Ausbreitungsklassen unter V, so ist bei einer Gesamtbedeckung von a 1)  $\leq 6/8$  oder a 2) eine Gesamtbedeckung von 7/8 und Windgeschwindigkeiten  $< 5$  Knoten die nächsthöhere Ausbreitungsklasse einzusetzen. Für die Stunden zwischen 12.00 und 15.00 MEZ ist bei Bedeckung von  $\leq 5/8$  (unter Beachtung des 1. Satzes) die nächsthöhere Ausbreitungsklasse einzusetzen.

b)

In den Monaten Mai und September ist für die Stunden zwischen 11.00 und 15.00 MEZ bei einer Bedeckung von  $\leq 6/8$  die nächsthöhere Ausbreitungsklasse einzusetzen.

c)

Für jede volle Stunde der Zeiträume von 1 Stunde bis 3 Stunden nach Sonnenaufgang (SA + 1 bis SA + 3) und von 2 Stunden vor bis 1 Stunde nach Sonnenuntergang (SU - 2 bis SU + 1) werden die Ausbreitungsklassen nach der folgenden Tabelle 2, Spalten  $K_N$  (für Nachtstunden) sowie  $K_T$  (für Tagesstunden) bestimmt. Die Tabelle 2 enthält somit verschiedene Kombinationen der Ausbreitungsklassen



$K_N$  und  $K_T$  und gibt an, welche wirklichkeitsnähere Ausbreitungsklasse statt dessen für die Ausbreitungsrechnung zu verwenden ist.

Geht z.B. die Sonne um 6.25 MEZ auf, dann ist für SA + 1 bis SA + 2 der Wert für die Stunden von 7.26 bis 8.25 MEZ einzusetzen. Bei stündlicher Zeitfolge mit Beobachtungen zur vollen Stunde ist die Bestimmung der Ausbreitungsklasse für 8.00 MEZ gültig.

d)

In den Monaten Dezember, Januar und Februar ist die Ausbreitungsklasse IV durch die Ausbreitungsklasse III/2 zu ersetzen.

Fälle, bei denen keine Ausbreitungsklasse bestimmt werden kann, werden bei Windgeschwindigkeiten unter 4 Knoten der Ausbreitungsklasse I, von 5 bis 6 Knoten der Klasse II und von mehr als 7 Knoten der Klasse III/1 zugeordnet.

Tabelle 2: Korrekturwerte für die Zeitspanne vor und nach Sonnenauf- bzw. untergang

$K_N$	$K_T$	SA + 1 bis SA + 2	SA + 2 bis SA + 3	SU - 2 bis SU - 1	SU - 1 bis SU	SU bis SU + 1
I	IV	I(II) *)	II	I	II(I) **)	I(II) *)
I	III/2	II	II	III/1	III/1	I(II) *)
II	IV	II	III/1	III/1	II	II
II	III/2	III/1	III/1	III/1	III/1	II
III/1	IV	III/1	III/2	III/2	III/1	III/1
III/1	III/2	III/1	III/1	III/2	III/2	III/1
III/1	III/1	III/1	III/1	III/1	III/1	III/1

\*) Für die Monate März bis November ist - bei Windgeschwindigkeiten über 2 Knoten - der Wert in der Klammer einzusetzen

\*\*) Für die Monate Januar, Februar und Dezember ist - bei Windgeschwindigkeiten bis 2 Knoten und Gesamtbedeckung bis 6/8 - der Wert in der Klammer einzusetzen

Nachdem die Ausbreitungsklassen festgestellt sind, wird für jede Klasse eine nach Richtungs- und Geschwindigkeitsklassen geordnete Windstatistik erstellt. Die Windrichtungsdaten sind, wie die Windgeschwindigkeitsdaten, Mittelwerte über mindestens 10 bis höchstens 60 Minuten.

Die Einteilung der sechs Ausbreitungsklassen orientiert sich an den verschiedenen Turbulenzuständen der Atmosphäre: Kl. V ist die labilste, Kl. I die stabilste Klasse. Eine labile Temperaturschichtung der Atmosphäre liegt bei starker Sonneneinstrahlung und geringer Windgeschwindigkeit vor. Es überwiegt dann die konvektive Turbulenz, durch welche eine rasche Vermischung der freigesetzten Schadstoffe mit der Umgebungsluft erfolgt. Eine stabile Temperaturschichtung der Atmosphäre, wie sie mit den Ausbreitungsklassen I und II korreliert ist, setzt vor allem den Luftmassenaustausch in der Vertikalen stark herab. Die Abgasfahnen ziehen eng gebündelt davon. Mittlere Ausbreitungsverhältnisse werden durch die neutralen Ausbreitungsklassen III/1 und III/2 dargestellt. Bei höheren Windgeschwindigkeiten ist die Temperaturschichtung der Atmosphäre immer neutral.

Die Häufigkeit der einzelnen Ausbreitungsklassen geht aus der folgenden Tabelle hervor:

Tabelle 3: Häufigkeit der einzelnen Ausbreitungsklassen in % an den Orten Bocholt und Düsseldorf (Zeitraum 1951 - 1960)

Ausbreitungsklasse	Bocholt ca. 20 m über NN	Flughafen Düsseldorf ca. 30 m über NN
stabil I (herabgesetzte	7,3	7,9
stabil II Durchmischung)	11,2	13,7
neutral III/1 (mittlere	49,2	50,1
neutral III/2 Durchmischung)	11,0	13,6
labil IV (starke vertikale	4,7	5,1
labil V Durchmischung)	2,2	2,4
Windgeschwindigkeit unterhalb von 1 Knoten = 0,5 m/s; in Anemometer- niveau	14,4	7,2

Wie die Tabelle 3 zeigt, ist die neutrale Ausbreitungsklasse III/1 mit etwa 50 % am häufigsten vertreten. Es ist diejenige neutrale Ausbreitungsklasse, die etwas nach stabil hin tendiert: Das bedeutet, daß die Atmosphäre mit überwiegender Häufigkeit eine leicht stabile Temperaturschichtung aufweist.

#### 2.5. Die Windgeschwindigkeit im GAUSSmodell nach TA Luft

In die GAUSSsche Ausbreitungsgleichung nach TA-Luft geht die Windgeschwindigkeit in der Höhe der effektiven Quellhöhe ein. Da die Windgeschwindigkeit  $u$  im

Mittel mit der Höhe zunimmt, wird  $u$  in der Höhe  $z$  mit Hilfe der nachstehenden Potenzgleichung aus der Windgeschwindigkeit in Anemometerniveau (in ungestörtem Gelände 10 m über Boden) hochgerechnet.

Potenzgleichung für das Windgeschwindigkeitsprofil:

$$u(z) = u_{z_0} (z/z_0)^m \quad (\text{Gl. 2})$$

$u(z)$ : Windgeschwindigkeit in der Höhe  $z$  in m/s

$u_{z_0}$ : Windgeschwindigkeit in Anemometerniveau  $z_0$  in m/s

Für effektive Quellhöhen von mehr als 200 m wird die Windgeschwindigkeit gleich dem für 200 m Höhe berechneten Wert gesetzt. Der Wert  $m$  in der Potenzgleichung für das Windgeschwindigkeitsprofil ergibt sich, abhängig von der Ausbreitungsklasse, aus Tabelle 4.

Tabelle 4: Exponent  $m$  in der Potenzgleichung für das Windgeschwindigkeitsprofil in Abhängigkeit von der Ausbreitungsklasse

Ausbreitungsklasse	m-Wert
stabil I	0,42
stabil II	0,37
neutral III/1	0,28
neutral III/2	0,22
labil IV	0,20
labil V	0,09

Die  $m$ -Werte steigen mit zunehmender Stabilität der Atmosphäre an. Je geringer der Turbulenzgrad der Atmosphäre ist, desto stärker nimmt die Windgeschwindigkeit mit der Höhe zu.

#### 2.6. In die GAUSSsche Abgasfahngleichung einzugebende Größen

Um mit Hilfe der GAUSSschen Abgasfahngleichung (s. Gleichung 1) die durch eine Quelle verursachte Immissionszusatzbelastung berechnen zu können, müssen folgende Größen eingegeben werden:

- Emissionsmassenstrom der Schadstoffe, kurz als Emission bezeichnet, in mg/s

- effektive Quellhöhe (Höhe der Abgasfahnenachse über Boden) in m  
(Die effektive Quellhöhe wird - von der Quelle her - durch die Schornsteinhöhe, den Abgasvolumenstrom, die Temperatur der Abgase an der Schornsteinmündung und die Austrittsgeschwindigkeit der Abgase bestimmt)
- die für die Ausbreitung maßgeblichen meteorologischen Parameter  
(Bei der Berechnung von Jahresmittelwert und Häufigkeitsverteilung der Immissionsbelastung ist dies eine dreidimensionale Häufigkeitsverteilung von Windrichtung, Windgeschwindigkeit und Ausbreitungsklasse. In einer Einzelsituation: Windrichtung, Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe sowie die Ausbreitungsklasse).

### 3. E i g e n s c h a f t e n   d e s   e r w e i t e r t e n   G A U S S - m o d e l l s

#### 3.1. Anpassung der Ausbreitungsparameter $\sigma_z$ an Quellentfernungen von 15 bis 100 km

Die in der TA Luft angegebenen Ausbreitungsparameter beruhen auf Tracerexperimenten, welche Quellentfernungen bis zu etwa 15 km abdecken. Für größere Quellentfernungen bis zu etwa 100 km kann das GAUSSmodell verwendet werden, wenn die Transportgeschwindigkeit sowie die vertikalen Ausbreitungsparameter  $\sigma_z$  an die größeren Entfernungen angepaßt werden.

Über Entfernungen bis 100 km durchgeführte Ausbreitungsexperimente zeigen, daß die horizontalen Ausbreitungsparameter  $\sigma_y$  bezüglich Betrag und Steigung vergleichbar sind mit den Ergebnissen der Tracerexperimente bis 15 km [ 2 ]. Die in der TA Luft angegebenen  $\sigma_y$ -Parameter können demnach bis zu Quellentfernungen von etwa 100 km verwendet werden.

Die vertikalen Ausbreitungsparameter  $\sigma_z$  steigen dagegen nicht unbegrenzt mit der Quellentfernung an, sondern nehmen in Abhängigkeit von der Mischungsschichthöhe einen Maximalwert an. Der Grund hierfür liegt darin, daß sich innerhalb der Mischungsschicht freigesetzte Abgase auch über große Entfernungen hinweg nur innerhalb der Mischungsschicht ausbreiten. Sobald eine Gleichverteilung der Schadstoffe in der Vertikalen innerhalb der Mischungsschicht eingetreten ist, nimmt der vertikale Ausbreitungsparameter einen konstanten, von der Quellentfernung  $x$  unabhängigen Wert an. Die Länge, welche  $\sigma_z$  maximal annimmt, ist bei Totalreflexion der Schadstoffe am Boden das 0,8fache der Mischungsschichthöhe.

Von KLUG wurden für die  $\sigma_z$ -Parameter der einzelnen Ausbreitungsklassen folgende Begrenzungen vorgeschlagen:

Tabelle 5: Begrenzung der vertikalen Ausbreitungsparameter

Temperaturschichtung der Atmosphäre	Ausbreitungsklasse	Maximaler $\sigma_z$ -Wert in m	Zugehörige Mischungsschichthöhe bei Totalreflexion der Schadstoffe am Boden in m
stabil	I	200	250
	II	200	250
neutral	III/1	500	625
	III/2	1000	1250
labil	IV	1500	1875
	V	1500	1875

Die Immissionskonzentrationen, welche sich bei den angegebenen Maximalwerten für  $\sigma_z$  ab einer gewissen Quellentfernung ergeben, gelten für die in der Tabelle 5 angegebenen Mischungsschichthöhen. Bei größeren Mischungsschichthöhen sinkt die Immissionsbelastung ab, bei niedrigeren Mischungsschichthöhen nimmt sie höhere Werte an. Wenn die Mischungsschicht nur halb so hoch ist (bei der nach labil hin tendierenden neutralen Ausbreitungsklasse III/2 z.B. anstelle von 1250 m nur 625 m), so ist der für die Verdünnung der Schadstoffe zur Verfügung stehende Austauschraum nur halb so groß und die Immissionsbelastung verdoppelt sich bereits unterhalb einer Quellentfernung von 15 km. Die Entfernung, in der eine Verdoppelung eintritt, ist umso geringer, je labiler die Atmosphäre geschichtet ist. Wenn eine Immissionssimulation für eine bestimmte Ausbreitungssituation durchgeführt werden soll, kann es angebracht sein, die Mischungsschichthöhe abzuschätzen, innerhalb der sich die Schadstoffe ausbreiten. Als vertikaler Ausbreitungsparameter  $\sigma_z$  ist dann keine größere Länge als das 0,8fache dieser Mischungsschichthöhe in die Ausbreitungsgleichung einzusetzen.

### 3.2. Anpassung der Transportgeschwindigkeit

Nach TA-Luft ist in der Ausbreitungsgleichung als Transportgeschwindigkeit die Windgeschwindigkeit in der effektiven Quellhöhe zu verwenden. Diese Transportgeschwindigkeit liegt bei niedrigen Quellen schon nach geringen Quellentfernungen unterhalb der tatsächlich erreichten Geschwindigkeit. Der Grund hierfür ist folgender:

Innerhalb der Mischungsschicht freigesetzte Abgase verteilen sich bei großräumiger Ausbreitung aufgrund der atmosphärischen Turbulenz über die gesamte Mischungsschicht. Dabei gelangen insbesondere die Abgase aus niedrigen Quellen nach und nach in höhere Luftschichten und damit in Bereiche höherer Transportgeschwindigkeit. Die Abgase aus dem Hausbrand z.B. werden dann um das zwei- bis dreifache schneller transportiert als in der Luftschicht, die sie aufgrund ihrer effektiven Quellhöhe erreichen. Um die durch niedrige Quellen verursachte Immissionsbelastung nicht um ein Mehrfaches zu überschätzen, muß deshalb bei Immissionssimulationen für größere Quellentfernungen die tatsächliche Transportgeschwindigkeit ermittelt und in die Ausbreitungsgleichung eingesetzt werden. Das kann mit ausreichender Genauigkeit auf folgende Weise geschehen: Die Transportgeschwindigkeit wird mit dem vertikalen Ausbreitungsparameter  $\sigma_z$  verknüpft. So wie dieser mit der Quellentfernung ansteigt, so steigt auch die Transportgeschwindigkeit an, bis sie in etwa der mittleren Windgeschwindigkeit innerhalb der Mischungsschicht entspricht. Solange  $0,62 \sigma_z$  kleiner ist als die effektive Quellhöhe, sind Windgeschwindigkeit in der effektiven Quellhöhe und Transportgeschwindigkeit gleichzusetzen. Sobald  $0,62 \sigma_z$  aber mit zunehmender Quellentfernung einen größeren Wert annimmt als die effektive Quellhöhe, gilt, daß als Transportgeschwindigkeit die Windgeschwindigkeit einzusetzen ist, welche in der Höhe  $0,62 \sigma_z$  herrscht.

#### 4. A b g a s f a h n e n ü b e r h ö h u n g

Die durch einen Emittenten in seiner Umgebung verursachte Immissionsbelastung liegt umso niedriger, je höher die Abgasfahne in die Atmosphäre emporsteigt. Nach einer Abschätzung mit Hilfe der GAUSSschen Ausbreitungsgleichung ist die maximale Immissionskonzentration am Boden dem Quadrat des Kehrwertes der effektiven Quellhöhe proportional.

Die Höhe, welche die Abgasfahnenachse in ebenem Gelände über der Schornsteinmündung erreicht, nachdem Austrittsimpuls (das Produkt von Abgasvolumenstrom und Austrittsgeschwindigkeit der Abgase) und thermischer Auftrieb der Abgase nicht mehr zu einem weiteren Aufstieg führen, wird als Abgasfahnenüberhöhung bezeichnet, die entsprechende Höhe der Abgasfahnenachse über Boden als effektive Quellhöhe. Die effektive Quellhöhe einer Abgasfahne ist demnach die Summe aus Abgasfahnenüberhöhung und Schornsteinbauhöhe.

Um die durch einen Emittenten am Boden verursachte Immissionsbelastung berechnen zu können, muß die effektive Quellhöhe der Abgasfahne bekannt sein. Für die Simulation von Schadstoffkonzentrationen wird neben dem eigentlichen Ausbreitungsmodell also noch ein Nebenmodell zur Prognose der Abgasfahnenüberhöhung benötigt. Die Abgasfahnenüberhöhung wird gewöhnlich mit empirischen oder halbempirischen Überhöhungsgleichungen berechnet, deren Parameter aufgrund von Überhöhungsmessungen bestimmt wurden.

Mit den meisten Überhöhungsgleichungen läßt sich nur der Endwert der Abgasfahnenüberhöhung prognostizieren. Einige Verfahren "liefern" als Ergebnis

jedoch auch den Anstieg der Abgasfahne im Nahbereich des Emittenten. Ihre maximale Höhe erreicht eine Abgasfahne ja erst in einer Quellentfernung, welche je nach ihrem Wärmehalt zwischen einigen 10 m und mehr als 1 bis 2 km liegt.

Eines der als sehr wirklichkeitsnahe geltenden Verfahren zur Berechnung der Abgasfahnenüberhöhung ist in der TA Luft angegeben. Für je zwei Ausbreitungsklassen sind in der TA Luft Überhöhungsgleichungen angegeben, mit deren Hilfe sich in Abhängigkeit von der Wärmeemission in Megawatt (MW) und der Windgeschwindigkeit an der Schornsteinmündung die Abgasfahnenüberhöhung berechnen läßt. Bei den beiden stabilen Ausbreitungsklassen wird dann noch eine weitere Unterteilung durchgeführt. Die größte Überhöhung ergibt sich bei labiler Temperaturschichtung der Atmosphäre. Bei neutraler Temperaturschichtung liegt die prognostizierte Überhöhung um 30 % niedriger. Mit den Gleichungen lassen sich nur Mittelwerte prognostizieren. In einer konkreten Wettersituation kann die tatsächliche Abgasfahnenüberhöhung beträchtlich von der prognostizierten abweichen. Die Ursache hierfür liegt darin, daß innerhalb einer Ausbreitungsklasse das vertikale Wind- und Temperaturprofil mit der Höhe stark variieren kann.

Im folgenden sind die Überhöhungsgleichungen angegeben, wie sie nach der TA-Luft für neutrale Temperaturschichtung der Atmosphäre - also etwa mittlere Wetterverhältnisse - zu verwenden sind.

Der Anstieg der Abgasfahne im Nahbereich des Emittenten wird mit folgender Gleichung berechnet:

$$\Delta h(x) = 2,48 Q^{1/3} x^{2/3} u_H^{-1} \quad (\text{Gl. 3})$$

In der Gleichung bedeuten:

$\Delta h(x)$ : Abgasfahnenüberhöhung bei neutraler Temperaturschichtung (Ausbreitungsklassen III<sub>1</sub> und III<sub>2</sub>) nach TA-Luft

Q : Wärmeemission in Megawatt (MW)

x : Quellentfernung windabwärts in m

$u_H$  : Windgeschwindigkeit an der Schornsteinmündung in m/s

Für Wärmeemissionen  $Q > 6$  MW gelten zusätzlich die beiden folgenden Gleichungen:

$$x_{\max} = 210 Q^{2/5} \quad (\text{Gl. 4})$$

mit  $x_{\max}$ : Quellentfernung in m, bis zu der die Abgasfahne ansteigt

und

$$\Delta h_{\max} = 102 Q^{3/5} u_H^{-1} \quad (\text{Gl. 5})$$

$\Delta h_{\max}$  stellt die Endhöhe dar, bis zu der die Abgasfahne ansteigt.

Entsprechend gelten für Wärmeemissionen  $Q \leq 6$  MW zusätzlich die beiden folgenden Gleichungen:

$$x_{\max} = 142 Q^{5/8} \quad (\text{Gl. 6})$$

$$\Delta h_{\max} = 78,4 Q^{3/4} u_H^{-1} \quad (\text{Gl. 7})$$

Um die in der TA Luft angegebenen Überhöhungsgleichungen verwenden zu können, müssen folgende Voraussetzungen erfüllt sein:

- Die Abgase müssen senkrecht aus einem Schornstein nach oben emittiert werden.
- Der Einfluß von höheren Objekten und Geländeunebenheiten auf das Anstiegsverhalten der Abgasfahne muß vernachlässigbar sein.
- Die Windgeschwindigkeit an der Schornsteinmündung muß wenigstens 1 m/s betragen.

Des Weiteren soll die effektive Quellhöhe nach TA Luft bei labiler Temperaturschichtung keinen höheren Wert als 1100 m und bei neutraler und stabiler Temperaturschichtung keinen höheren Wert als 800 m annehmen. Das sind etwa die in unseren Breiten im jährlichen Mittel am Nachmittag auftretenden Mischungsschichthöhen.

Im folgenden sind die Überhöhungsgleichungen für den Endwert der Abgasfahnenüberhöhung nach TA-Luft bei den einzelnen Ausbreitungsklassen aufgeführt:

#### Ausbreitungsklassen IV und V

$$\text{Wärmeemission } Q \leq 6 \text{ MW} : \Delta h = 112 Q^{3/4} u_H^{-1} \quad (\text{Gl. 8})$$

$$Q > 6 \text{ MW} : \Delta h = 146 Q^{3/5} u_H^{-1} \quad (\text{Gl. 9})$$

#### Ausbreitungsklassen III<sub>1</sub> und III<sub>2</sub>

$$Q \leq 6 \text{ MW} : \Delta h = 78,4 Q^{3/4} u_H^{-1} \quad (\text{Gl. 10})$$

$$Q > 6 \text{ MW} : \Delta h = 102 Q^{3/5} u_H^{-1} \quad (\text{Gl. 11})$$



Ausbreitungsklasse II

$$\Delta h = 85,2 Q^{1/3} u_H^{-1/3} \quad (\text{Gl. 12})$$

Ausbreitungsklasse I

$$\Delta h = 74,4 Q^{1/3} u_H^{-1/3} \quad (\text{Gl. 13})$$

In Abb. 1 (die Abbildungen befinden sich im Anhang) ist die bei den einzelnen Ausbreitungsklassen nach TA Luft im Mittel zu erwartende Abgasfahnenüberhöhung für eine Windgeschwindigkeit von 1 m/s (in der Höhe der Schornsteinmündung) in Abhängigkeit von der Wärmeemission dargestellt. Bei höheren Windgeschwindigkeiten ist der Ablesewert durch die entsprechende Windgeschwindigkeit  $u_H$  (in der Höhe der Schornsteinmündung) bzw. bei den stabilen Ausbreitungsklassen durch die dritte Wurzel aus der Windgeschwindigkeit zu teilen. Die Windgeschwindigkeit in Höhe der Schornsteinmündung ist aus der Windgeschwindigkeit in Anemometerniveau mit der hierfür angegebenen Gleichung 2 zu berechnen. Abb. 2 zeigt den Anstieg von Abgasfahnen innerhalb von Inversionen mit verschiedenen Temperatursprüngen und Windgeschwindigkeiten nach der entsprechenden Überhöhungsgleichung von BRIGGS [3].

Der Wärmeinhalt einer Abgasfahne in Megawatt läßt sich mit Hilfe folgender Gleichung aus der Differenz der Temperatur der Abgase an der Schornsteinmündung zur Umgebungstemperatur berechnen:

$$Q = 1,36 \cdot 10^{-3} R (T - T_A) \quad (\text{Gl. 14})$$

In der Gleichung bedeuten:

- Q : Wärmeemission in Megawatt  
 R : Abgasvolumenstrom einschließlich des Wasserdampfgehaltes unter Normbedingungen (also bei 1013 mbar und 273 K) in m<sup>3</sup>/s  
 T : Temperatur der Abgase beim Austritt aus dem Schornstein  
 T<sub>A</sub> : Umgebungstemperatur

Falls nur die Temperatur der Abgase am Kesselende bzw. beim Eintritt in den Schornstein bekannt ist, kann der Temperaturverlust im Schornstein wie folgt abgeschätzt werden:

Bei Schornsteinen älterer Bauart ohne besondere Wärmedämmung beträgt die Temperaturabnahme etwa 10 Grad pro 100 m, bei neueren Schornsteinen wegen der besseren Wärmedämmung über die gesamte Schornsteinlänge nur etwa 5 bis 10 Grad.

## 5. Genauigkeit der mit Hilfe eines GAUSS- modells berechneten Immissionskonzentrationen

Die Unterschiede zwischen gemessenen und berechneten Immissionskonzentrationen sind am geringsten, wenn Jahresmittel der Immissionsbelastung miteinander verglichen werden, die durch die vielen Quellen eines Stadtgebietes verursacht wird. Die hierfür festgestellten Unterschiede betragen in der Regel weniger als 20 bis 50 %. Meist lag eine Überschätzung vor! Das 97,5- bzw. 98-Perzentil wurde bei den Immissionssimulationen stärker überschätzt als der Jahresmittelwert. Bei der Immissionszusatzbelastung, welche durch einen einzelnen Emittenten in einer konkreten Ausbreitungssituation verursacht wird, können sich größere Unterschiede zwischen Messung und Rechnung ergeben, da die Ausbreitungsbedingungen auch innerhalb einer Ausbreitungsklasse noch stark schwanken. Insbesondere in labilen sowie stabilen Ausbreitungssituationen kann in größeren Quellentfernungen die tatsächliche turbulente Ausbreitung in der Vertikalen aus einer Reihe von Gründen von der durch die Ausbreitungsparameter  $\sigma_z$  prognostizierten abweichen. Die Unsicherheiten bei der Ausbreitung in der Horizontalen senkrecht zur Windrichtung sind kleiner. In manchen Fällen kann  $\sigma_z$  als korrekt innerhalb der Schwankungsbreite des Faktors 2 aufgefaßt werden, und zwar in einer neutralen oder leicht stabilen Ausbreitungssituation bis zu einer Quellentfernung von einigen Kilometern und bei labilen Ausbreitungsverhältnissen in den unteren 1000 m der Atmosphäre bis zu einer Quellentfernung von 10 bis 20 km und mehr, sofern die Mischungsschicht an ihrer Obergrenze durch eine stabile Sperrschicht abgeschlossen wird. In diesen beiden Fällen sind die mit einem GAUSSmodell simulierten Bodenkonzentrationen unterhalb der Abgasfahne etwa innerhalb der Schwankungsbreite des Faktors 3 korrekt. Unsicherheiten bezüglich der Windgeschwindigkeit sowie der Ausbreitung in der Horizontalen sind dadurch ebenfalls abgedeckt, nicht jedoch Fehler aufgrund von Unterschieden zwischen tatsächlicher und prognostizierter Abgasfahnenüberhöhung.

Im Mittel stimmen berechnete und gemessene Immissionskonzentrationen im Lee einer Quelle besser überein. Der Entfernungsbereich, für den mit Hilfe von GAUSSmodellen die sichersten Aussagen möglich sind, liegt zwischen einigen 100 m und etwa 20 km.

## 6. Ablesung der bodennahen Immissionsbelastung aus Diagrammen

Den Abbildungen 3 bis 13 können die Immissionskonzentrationen entnommen werden, welche am Boden ( $z = 2$  m) unterhalb der Abgasfahne bei den Ausbreitungsklassen I bis V zu erwarten sind. In den Abbildungen ist der Verlauf der bodennahen Immissionsbelastung für effektive Quellhöhen zwischen 0 und 300 m in Abhängigkeit von der Quellentfernung dargestellt, wie er sich mit dem Ausbreitungsmodell nach TA Luft ergibt, das an die weiträumige Ausbreitung angepaßt wurde. Außerdem wurden die Kurven, wo erforderlich, geglättet.

Auf der Abszisse der Abbildungen ist die Quellentfernung zwischen 100 m und 100 km aufgetragen, auf der Ordinate die Immissionskonzentration, welche bei einer Emission von 1 mg/s und einer Windgeschwindigkeit von 1 m/s (Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe) bei unterschiedlichen effektiven Quellhöhen zu erwarten ist (normierte Immissionskonzentration).

Bei einer höheren Windgeschwindigkeit als 1 m/s in 10 m Höhe ist die in dem Diagramm angegebene Konzentration durch die Windgeschwindigkeit zu teilen. Der Ablesewert ist darüber hinaus mit der Emission in Milligramm pro Sekunde zu multiplizieren. Das Ergebnis ist dann die in dem konkreten Fall bei einer vorgegebenen effektiven Quellhöhe in einer bestimmten Quellentfernung zu erwartende Immissionskonzentration.

Die Abbildungen 14 bis 19 zeigen die Querausbreitung von Abgasfahnen senkrecht zur Windrichtung für effektive Quellhöhen von 20 und 100 m und die Ausbreitungsklassen I, III<sub>1</sub> und V. Dargestellt ist die Immissionskonzentration am Boden (z = 2 m).

In den Abbildungen 20 bis 22 ist die bodennahe Immissionsbelastung in östlicher Richtung von Emittenten mit Schornsteinbauhöhen zwischen 0 und 300 m dargestellt, wie sie im Jahresmittel zu erwarten ist. Die Jahresmittel wurden unter Verwendung der meteorologischen Parameter von Bocholt berechnet, welche für den südlichen Teil des norddeutschen Tieflandes und das Ruhrgebiet typisch sind.

Auf der Abszisse der Abbildung ist die Quellentfernung zwischen 100 m und 100 km aufgetragen, auf der Ordinate die Jahresmittelwerte der Immissionskonzentration für eine Emission von 1 mg/s.

Das absolute Immissionsmaximum liegt nicht in östlicher, sondern wegen der größeren Häufigkeit der Südwestwinde in nordöstlicher Richtung. Der Unterschied ist allerdings gering.

Abb. 20 zeigt die Jahresmittelwerte für Schornsteinbauhöhen zwischen 0 und 300 m, bei denen die emittierten Abgasfahnen keine Abgasfahnenüberhöhung aufweisen, also nicht über die Schornsteinmündung hinaus ansteigen. In Abb. 21 sind für diese Quellen die 95-Perzentilwerte und in Abb. 22 die 98-Perzentilwerte aufgetragen.

Die Abbildungen 23 bis 25 enthalten die Jahresmittelwerte für Schornsteinbauhöhen von 50, 150 und 300 m und typische Abgasvolumenströme sowie typische Abgastemperaturen an der Schornsteinmündung. In den Abbildungen 26 bis 28 sind für diese Quellen die 95-Perzentilwerte und in den Abbildungen 29 bis 31 die 98-Perzentilwerte aufgetragen.

## 7. Anwendungsbereich

Die Diagramme können in zweifacher Hinsicht genutzt werden:

- Zum einen erlauben sie eine erste Abschätzung der in der Umgebung eines Emittenten im Jahresmittel sowie der als 95- und 98-Perzentil zu erwartenden Immissionszusatzbelastung. In Abhängigkeit von der Schornsteinbauhöhe und der Wärmeemission kann im einzelnen u.a. ermittelt werden, wie sich die Immissionsbelastung mit zunehmender Schornsteinbauhöhe und Wärmeemission verringert und die Lage des Immissionsmaximums verschiebt. Dies ist für Planungsaufgaben von Bedeutung.

Hierbei handelt es sich um eine erste Abschätzung, weil sich bei Verwendung anderer als der zugrunde gelegten meteorologischen Parameter Abweichungen ergeben. Darüber hinaus ist die Immissionszusatzbelastung im Jahresmittel sowie als 95- und 98-Perzentil in den Abbildungen nur für die Ostrichtung angegeben.

- Des Weiteren kann den Diagrammen die bei den einzelnen Ausbreitungsklassen windabwärts von einem Emittenten unterhalb der Abgasfahne oder seitlich davon zu erwartende bodennahe Immissionszusatzbelastung entnommen werden. Dies ist in einem Störfall von großer Bedeutung, wenn es darum geht, rasch die in den einzelnen Entfernungen zu erwartende Immissionsbelastung abzuschätzen. Geringe Abweichungen von berechneten Belastungen können sich im letzteren Fall mitunter nur dadurch ergeben, daß die Kurven geglättet wurden.

Falls bei einem Störfall schwere Gase freigesetzt werden, so kann das hier beschriebene Ausbreitungsmodell nur für größere Quellentfernungen verwendet werden, in denen sich die schweren Gase wie eine passive Spurensubstanz ausbreiten.

## 8. Anwendungsbeispiel

Im folgenden wird die Anwendung der Diagramme und Formeln anhand eines Beispiels erläutert:

### Aufgabenstellung:

Ein 100 m hoher Schornstein emittiert 360 kg SO<sub>2</sub> pro Stunde (10<sup>5</sup> mg pro Sekunde). Seine Wärmeemission beträgt 5 Megawatt. Welche SO<sub>2</sub>-Konzentration ist als Stundenmittel an einem sonnigen Sommernachmittag am Boden unterhalb der Abgasfahne in 1 km Abstand vom Emittenten zu erwarten? Die Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe beträgt 2 m/s.

### Lösung:

Bei den geschilderten Wetterverhältnissen ist die Ausbreitungssituation nach Tabelle 1 sowie Bedingung a) zu Tabelle 1 durch die labile Ausbreitungsklasse V gekennzeichnet.

Der Endwert der Abgasfahnenüberhöhung bei Ausbreitungsklasse V beträgt nach Abb. 1 bei einer Wärmeemission von 5 Megawatt, bezogen auf eine Windgeschwin-

digkeit von 1 m/s an der Schornsteinmündung, 380 m.

Nach der Gleichung für das Windprofil (Gl. 2) steigt die Windgeschwindigkeit von 2 m/s in 10 m Höhe bei Ausbreitungsstufe V auf 2,5 m/s in 100 m Höhe an. Da die Überhöhung bei stabiler und neutraler Temperaturschichtung dem Kehrwert der Windgeschwindigkeit an der Schornsteinmündung proportional ist, ergibt sich der Endwert der Abgasfahnenüberhöhung damit zu 152 m und die effektive Quellhöhe, die sich aus Schornsteinbauhöhe und Abgasfahnenüberhöhung zusammensetzt, zu 250 m.

Der Endwert der Abgasfahnenüberhöhung kommt infrage, weil dieser bei einer Wärmeemission von 5 Megawatt bereits unterhalb von 1000 m erreicht wird. Die Entfernung, in welcher der Endwert erreicht wird, ist bei stabiler Temperaturschichtung 1,4mal so groß wie die Entfernung, welche sich nach der Gleichung 6 für  $x_{\max}$  für neutrale Temperaturschichtung errechnet.

Nach Abb. 11 beträgt die bodennahe Immissionskonzentration bei Ausbreitungsstufe V bezogen auf eine Emission von 1 mg/s und eine Windgeschwindigkeit von 1 m/s (in 10 m Höhe) unterhalb einer Abgasfahne mit einer effektiven Quellhöhe von 250 m in 1000 m Quellentfernung  $2 \cdot 10^{-6}$  mg/m<sup>3</sup>. Um die Immissionskonzentration entsprechend der Aufgabenstellung zu erhalten, muß der Ablesewert noch mit der Emission von  $10^5$  mg/s multipliziert und durch die Windgeschwindigkeit von 2 m/s in 10 m Höhe geteilt werden. Die am Boden unterhalb der Abgasfahne in 2 m Höhe zu erwartende Immissionskonzentration ergibt sich dann zu 0,1 mg SO<sub>2</sub>/m<sup>3</sup>.

## S c h r i f t t u m

- [1] Erste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zur Reinhaltung der Luft - TA Luft) vom 27.02.1986.  
Gemeinsames Ministerialblatt Nr. 7 (1986) S. 95 ff.  
Hrsg.: Bundesminister des Inneren.
- [2] THOMAS, P. und S. VOGT:  
Untersuchung des Transports und der turbulenten Diffusion mit Tracer und Tetroon, Kernforschungszentrum Karlsruhe (Interner Bericht).
- [3] BRIGGS, G.A.:  
Some Recent Analyses of Plume Risc Observation.  
Proceedings of the Sec. Intern. Clean Air Congress, Washington 1970, Academic Press (1971), 1029/32.

A b b i l d u n g e n

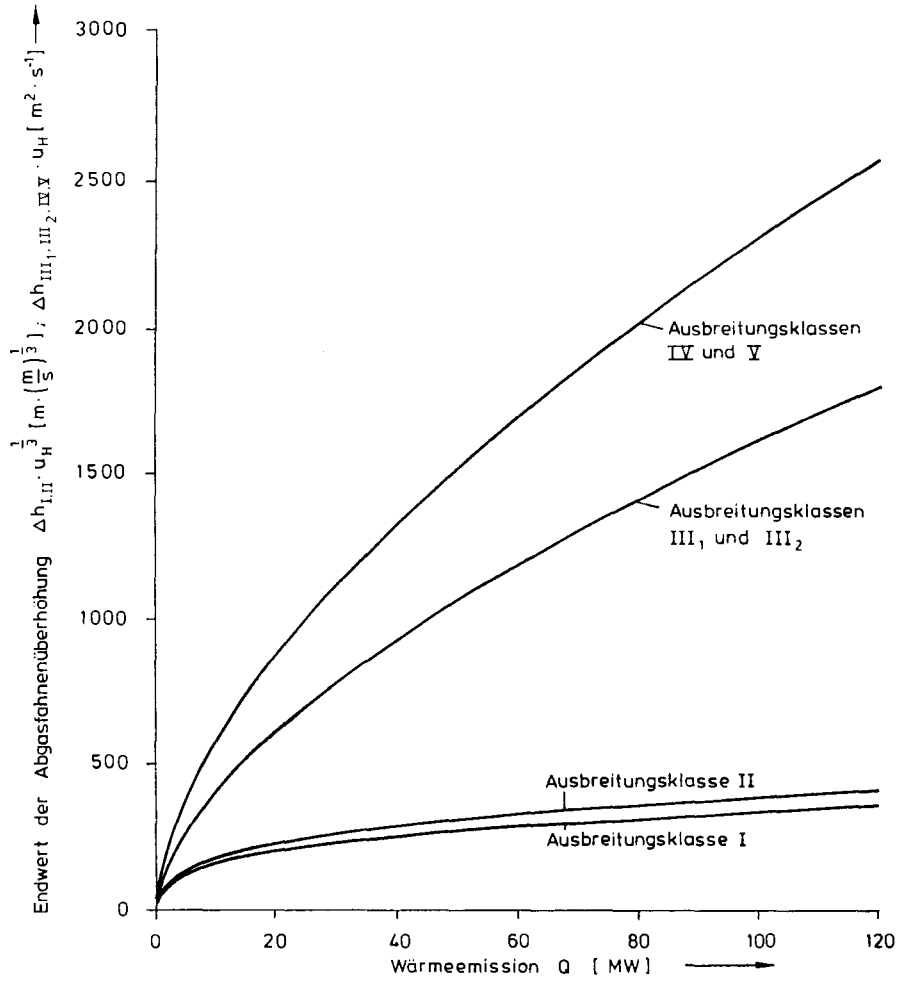


Abb. 1:  
Endwert der Abgasfahnenüberhöhung  $\Delta h$  nach TA-Luft in Abhängigkeit von der Wärmeemission bei einer Windgeschwindigkeit von 1 m/s an der Schornsteinmündung

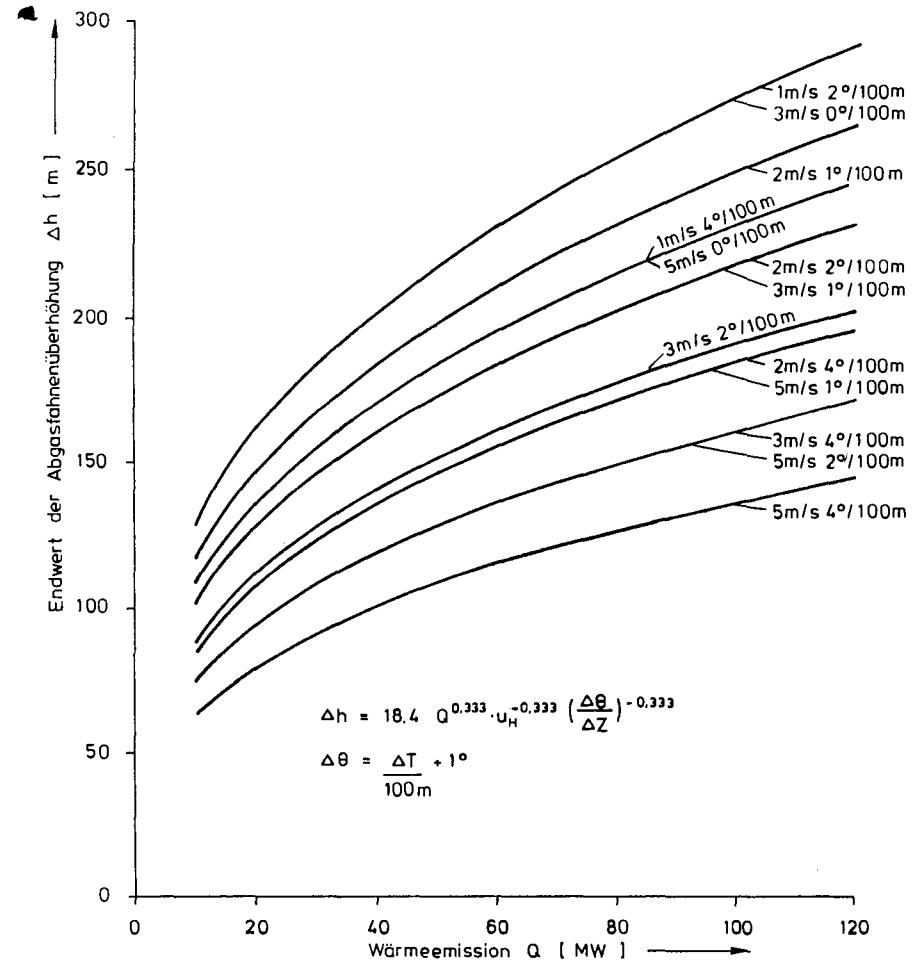


Abb. 2:  
Endwert der Abgasfahnenüberhöhung  $\Delta h$  nach BRIGGS innerhalb von Inversionen in Abhängigkeit von der Wärmeemission bei einer Windgeschwindigkeit an der Schornsteinmündung von 1 m/s und der Temperaturzunahme  $\Delta T$  innerhalb der Inversion



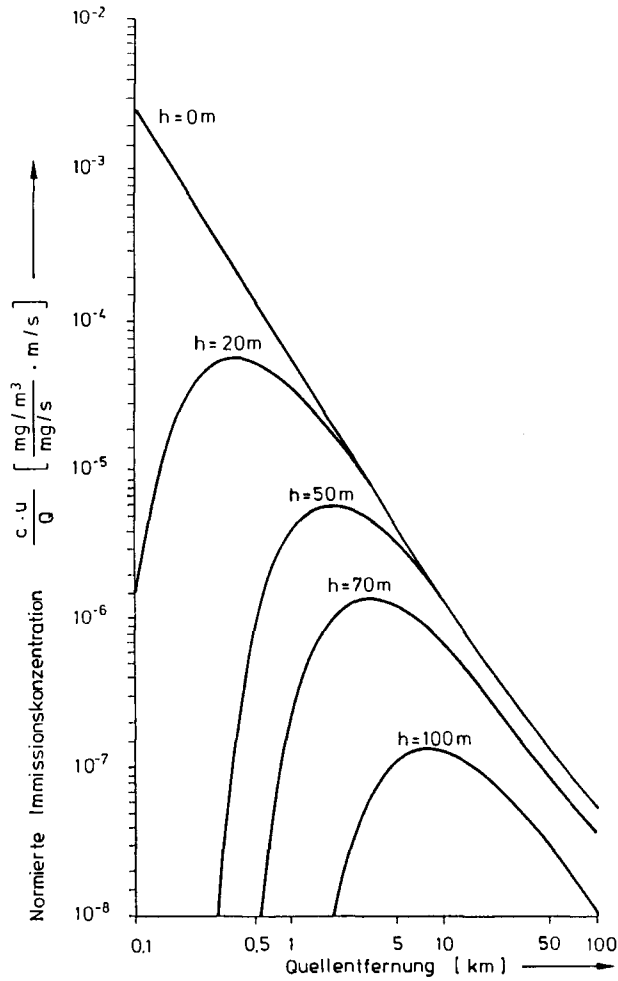


Abb. 3:  
 Immissionskonzentration am Boden ( $z = 2\text{ m}$ ) unterhalb der Abgasfahne für eine Windgeschwindigkeit von  $1\text{ m/s}$  in  $10\text{ m}$  Höhe und eine Emission von  $1\text{ mg/s}$ , Ausbreitungsklasse I,  
 $h$  : effektive Quellhöhe, für  $h = 0\text{ m}$  bis  $h = 100\text{ m}$

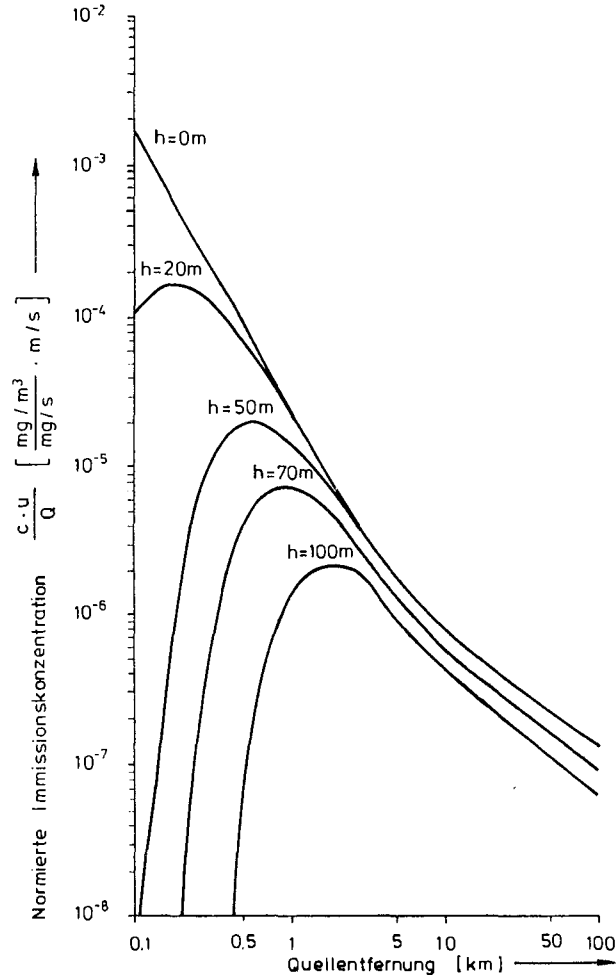


Abb. 5:  
 Immissionskonzentration am Boden ( $z = 2\text{ m}$ ) unterhalb der Abgasfahne für eine Windgeschwindigkeit von  $1\text{ m/s}$  in  $10\text{ m}$  Höhe und eine Emission von  $1\text{ mg/s}$ , Ausbreitungsklasse II,  
 für  $h = 0\text{ m}$  bis  $h = 100\text{ m}$

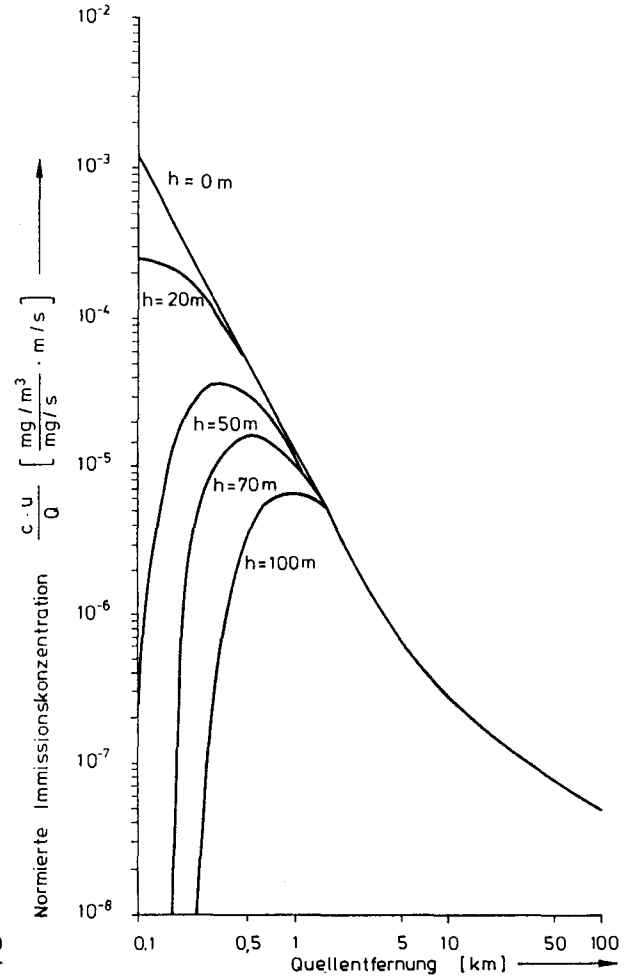


Abb. 7:  
 Immissionskonzentration am Boden ( $z = 2\text{ m}$ ) unterhalb der Abgasfahne für eine Windgeschwindigkeit von  $1\text{ m/s}$  in  $10\text{ m}$  Höhe und eine Emission von  $1\text{ mg/s}$ , Ausbreitungsklasse III<sub>1</sub>,  
 für  $h = 0\text{ m}$  bis  $h = 100\text{ m}$

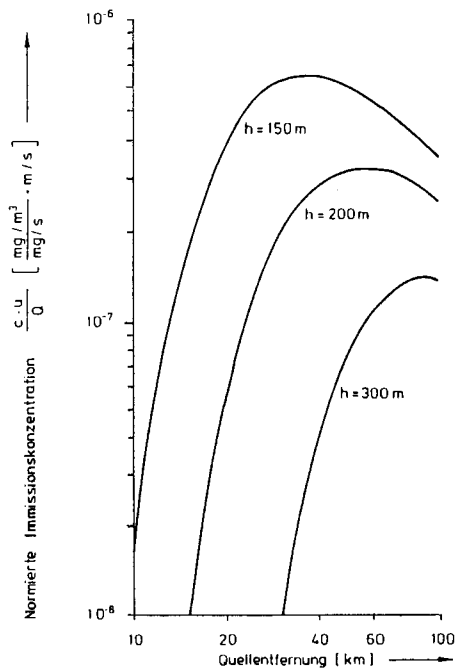


Abb. 4:  
Immissionskonzentration am Boden ( $z = 2$  m) unterhalb der Abgasfahne für eine Windgeschwindigkeit von 1 m/s in 10 m Höhe und eine Emission von 1 mg/s, Ausbreitungsklasse I, für  $h = 150$  m bis  $h = 300$  m

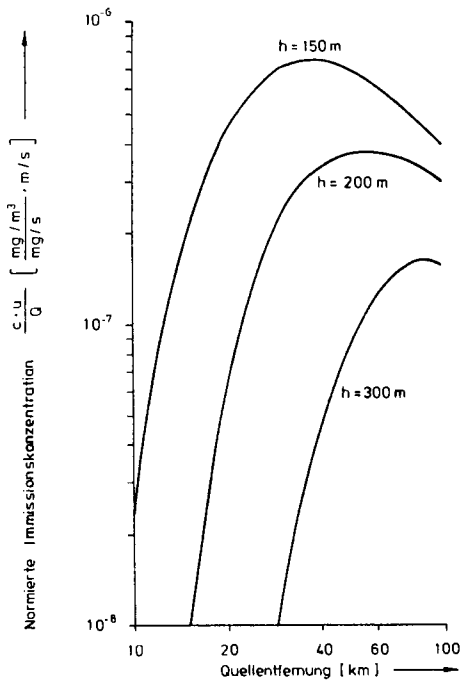


Abb. 6:  
Immissionskonzentration am Boden ( $z = 2$  m) unterhalb der Abgasfahne für eine Windgeschwindigkeit von 1 m/s in 10 m Höhe und eine Emission von 1 mg/s, Ausbreitungsklasse II, für  $h = 150$  m bis  $h = 300$  m

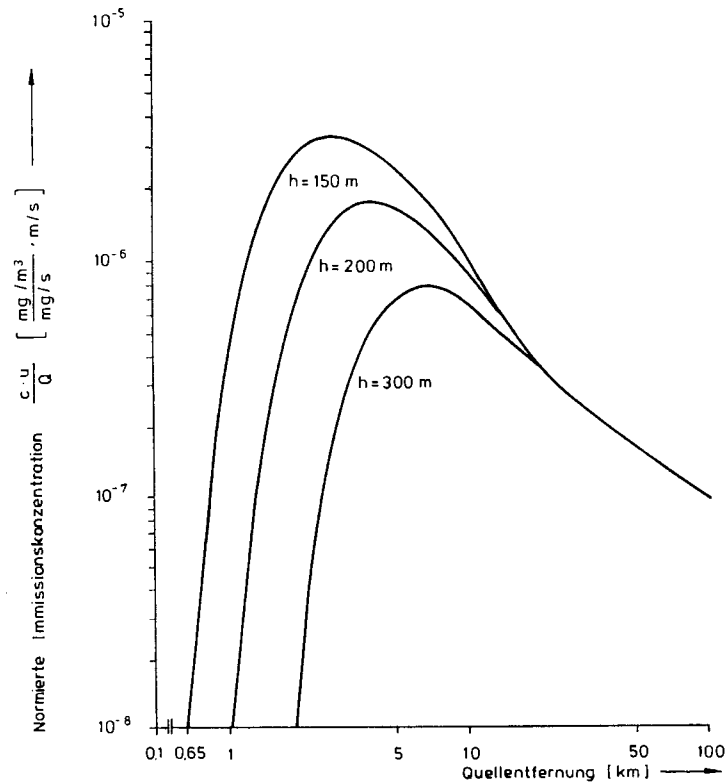


Abb. 8:  
Immissionskonzentration am Boden ( $z = 2$  m) unterhalb der Abgasfahne für eine Windgeschwindigkeit von 1 m/s in 10 m Höhe und eine Emission von 1 mg/s, Ausbreitungsklasse III<sub>1</sub>, für  $h = 150$  m bis  $h = 300$  m

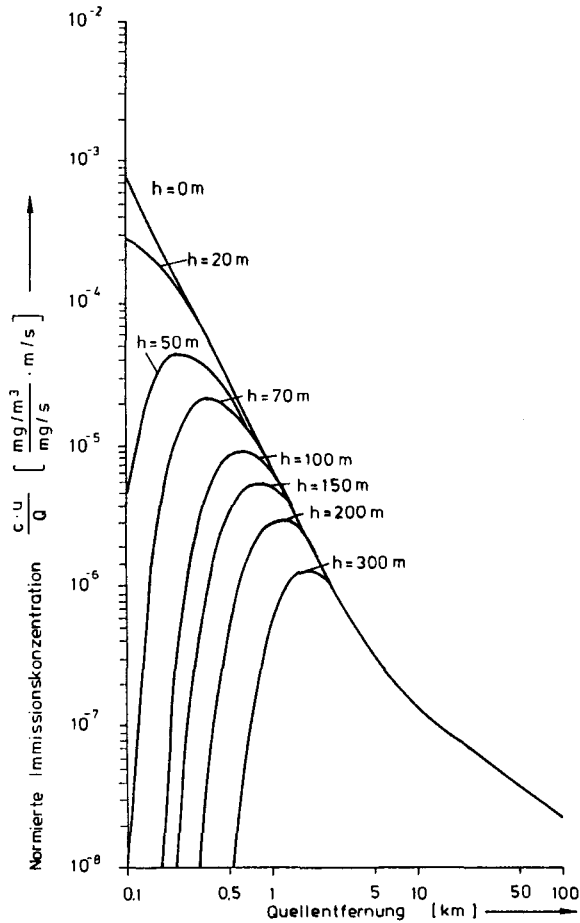


Abb. 9:  
 Immissionskonzentration am Boden ( $z = 2$  m) unterhalb der Abgasfahne für eine Windgeschwindigkeit von 1 m/s in 10 m Höhe und eine Emission von 1 mg/s, Ausbreitungsklasse III<sub>2</sub>, für  $h = 0$  m bis  $h = 300$  m

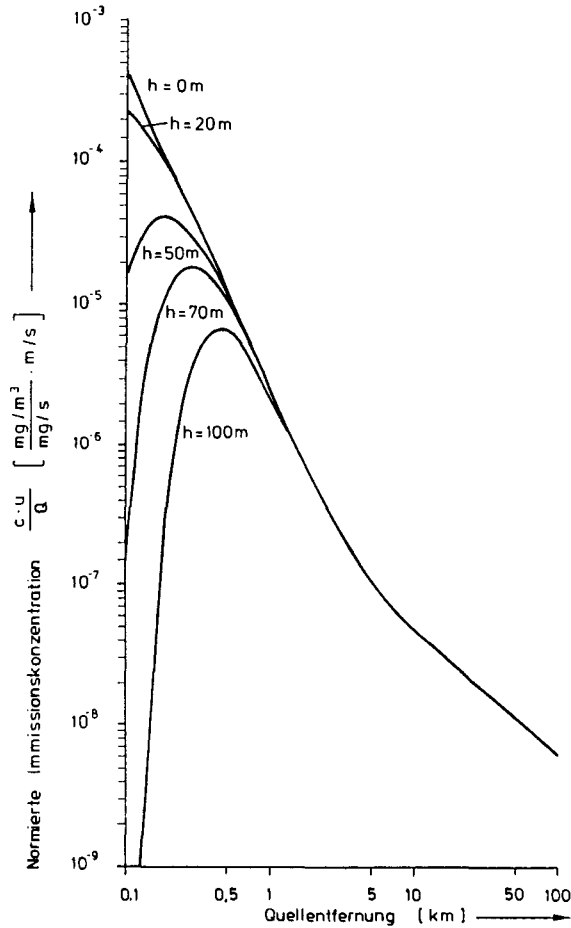


Abb. 10:  
 Immissionskonzentration am Boden ( $z = 2$  m) unterhalb der Abgasfahne für eine Windgeschwindigkeit von 1 m/s in 10 m Höhe und eine Emission von 1 mg/s, Ausbreitungsklasse IV, für  $h = 0$  m bis  $h = 100$  m

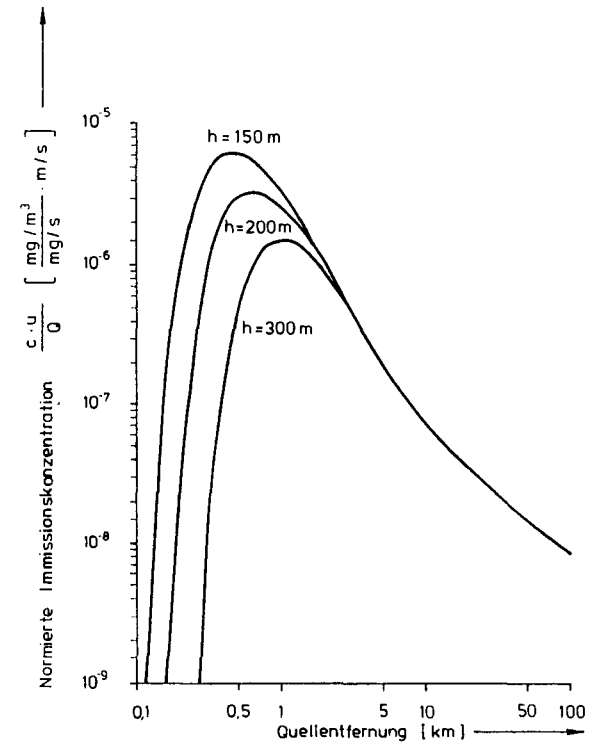


Abb. 11:  
 Immissionskonzentration am Boden ( $z = 2$  m) unterhalb der Abgasfahne für eine Windgeschwindigkeit von 1 m/s in 10 m Höhe und eine Emission von 1 mg/s, Ausbreitungsklasse IV, für  $h = 150$  m bis  $h = 300$  m

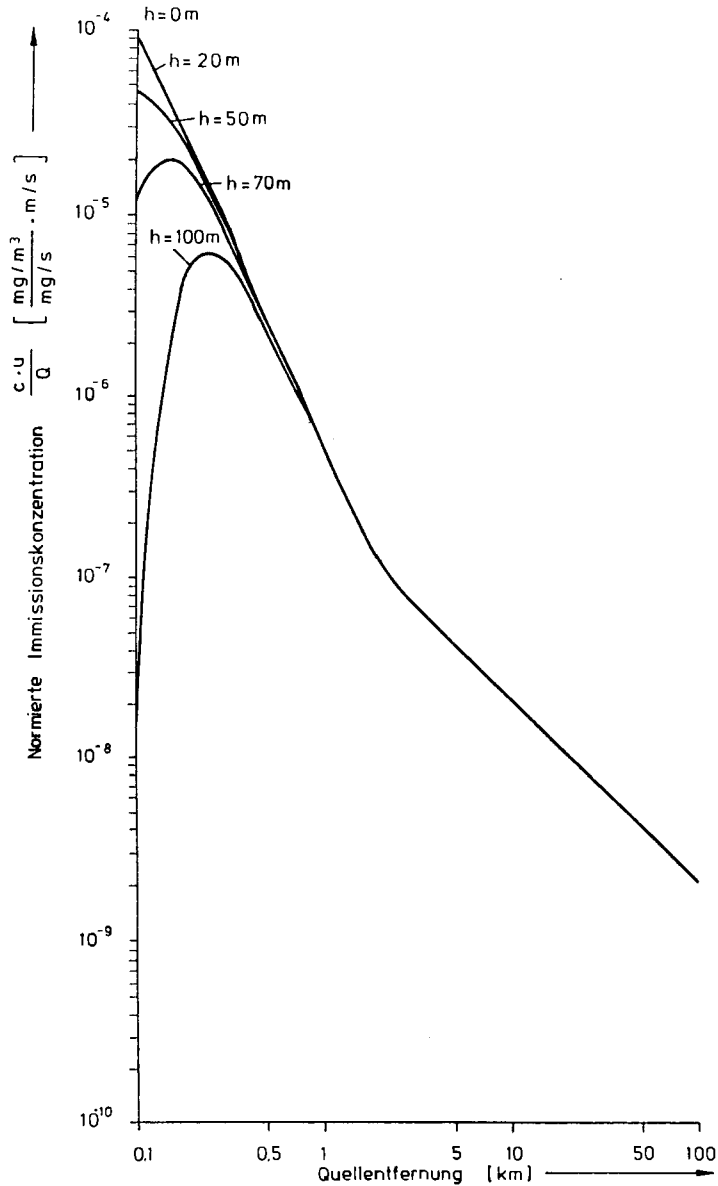


Abb. 12:  
 Immissionskonzentration am Boden ( $z = 2$  m) unterhalb der Abgasfahne für eine Windgeschwindigkeit von 1 m/s in 10 m Höhe und eine Emission von 1 mg/s, Ausbreitungsklasse V, für  $h = 0$  m bis  $h = 100$  m

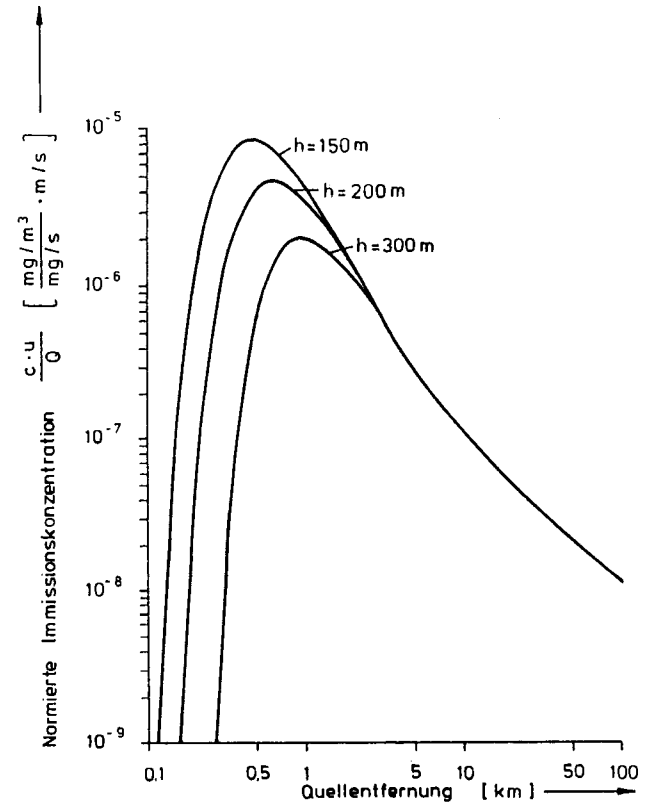


Abb. 13:  
 Immissionskonzentration am Boden ( $z = 2$  m) unterhalb der Abgasfahne für eine Windgeschwindigkeit von 1 m/s in 10 m Höhe und eine Emission von 1 mg/s, Ausbreitungsklasse V, für  $h = 150$  m bis  $h = 300$  m

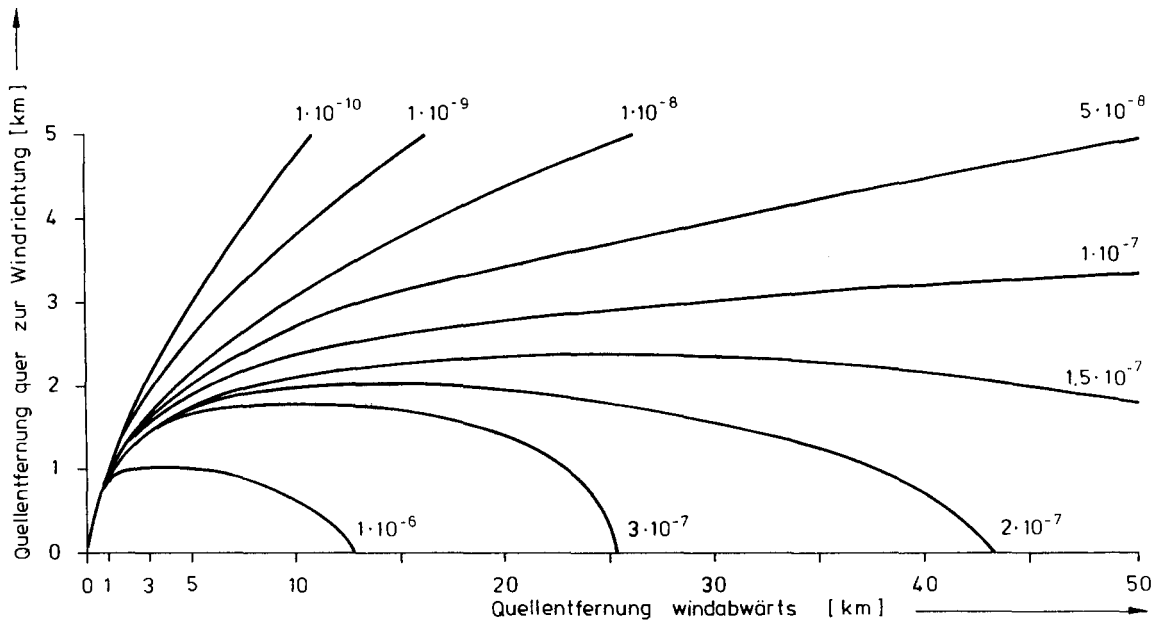


Abb. 14:

Isoplethen der normierten Immissionskonzentration  $\frac{C \cdot U}{Q}$  am Boden ( $z = 2$  m) für eine effektive Quellhöhe  $h$  von 20 m, Ausbreitungsklasse I

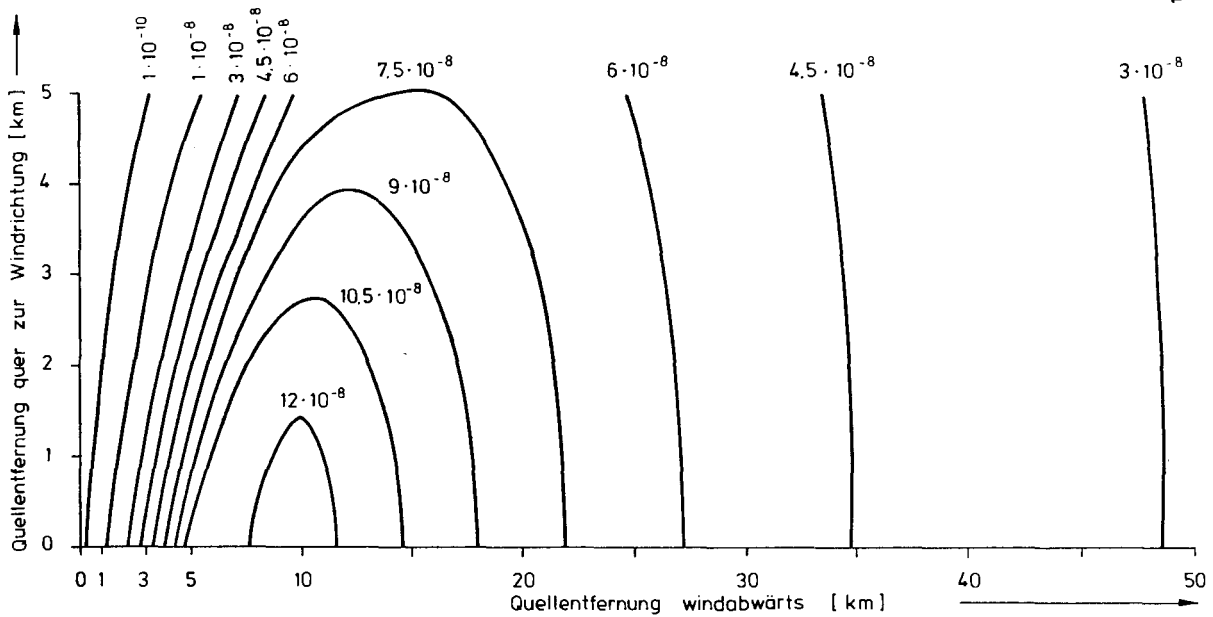


Abb. 15:

Isoplethen der normierten Immissionskonzentration  $\frac{C \cdot U}{Q}$  am Boden ( $z = 2$  m) für eine effektive Quellhöhe  $h = 100$  m, Ausbreitungsklasse I

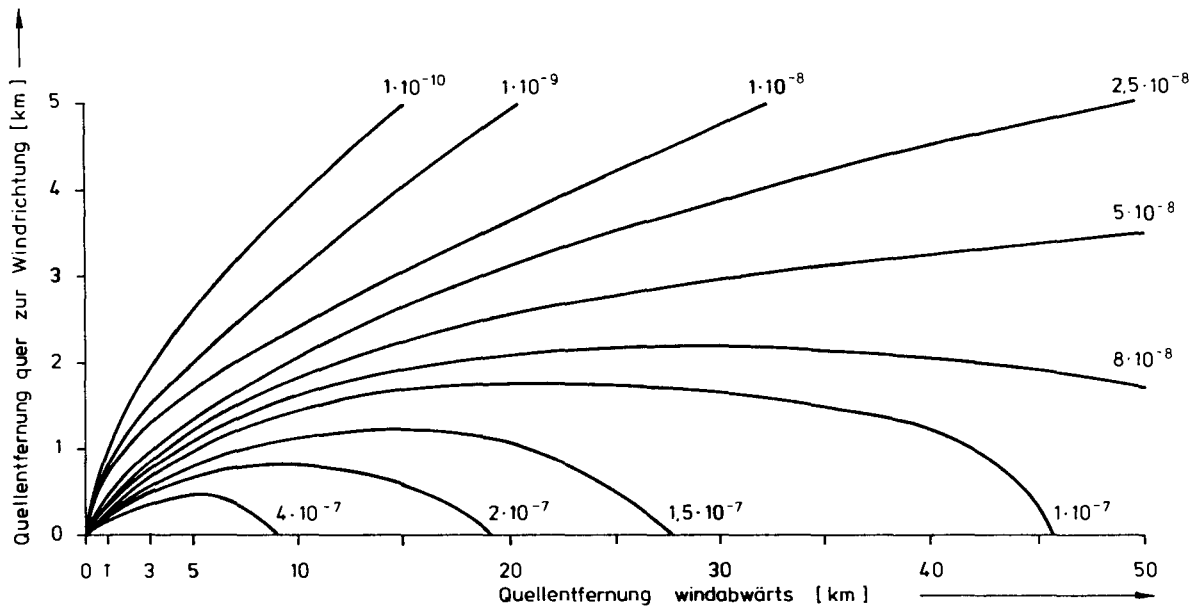


Abb. 16:

Isoplethen der normierten Immissionskonzentration  $\frac{C \cdot U}{Q}$  am Boden ( $z = 2$  m) für eine effektive Quellhöhe  $h = 20$  m, Ausbreitungsklasse III<sub>1</sub>

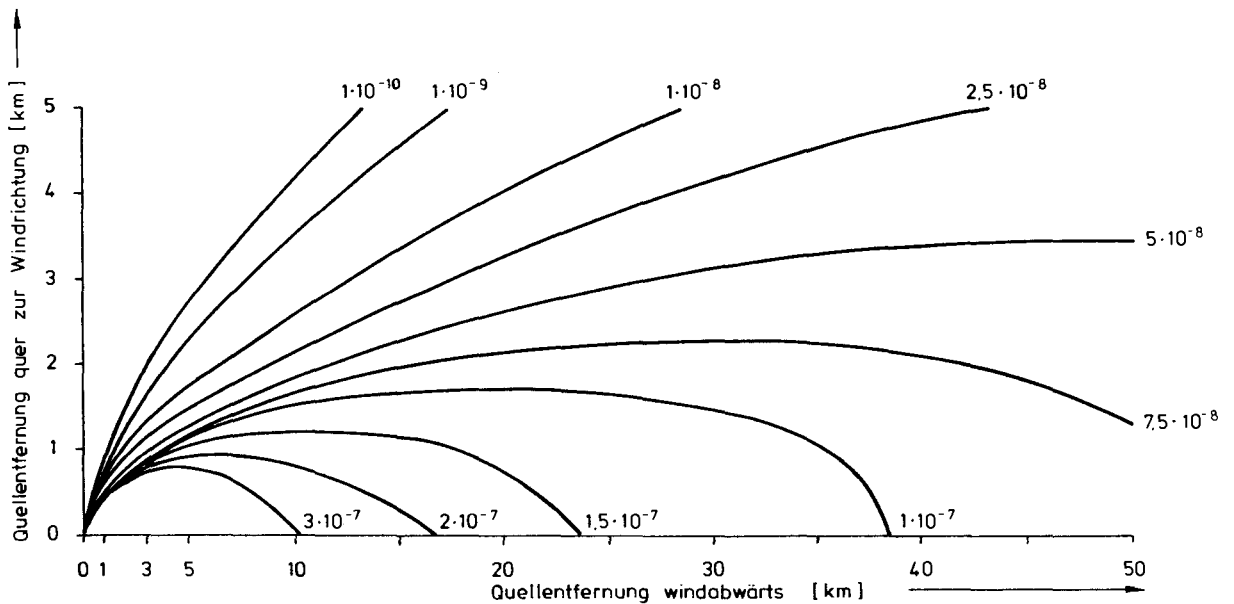


Abb. 17:

Isoplethen der normierten Immissionskonzentration  $\frac{C \cdot U}{Q}$  am Boden ( $z = 2$  m) für eine effektive Quellhöhe  $h = 100$  m, Ausbreitungsklasse III<sub>1</sub>

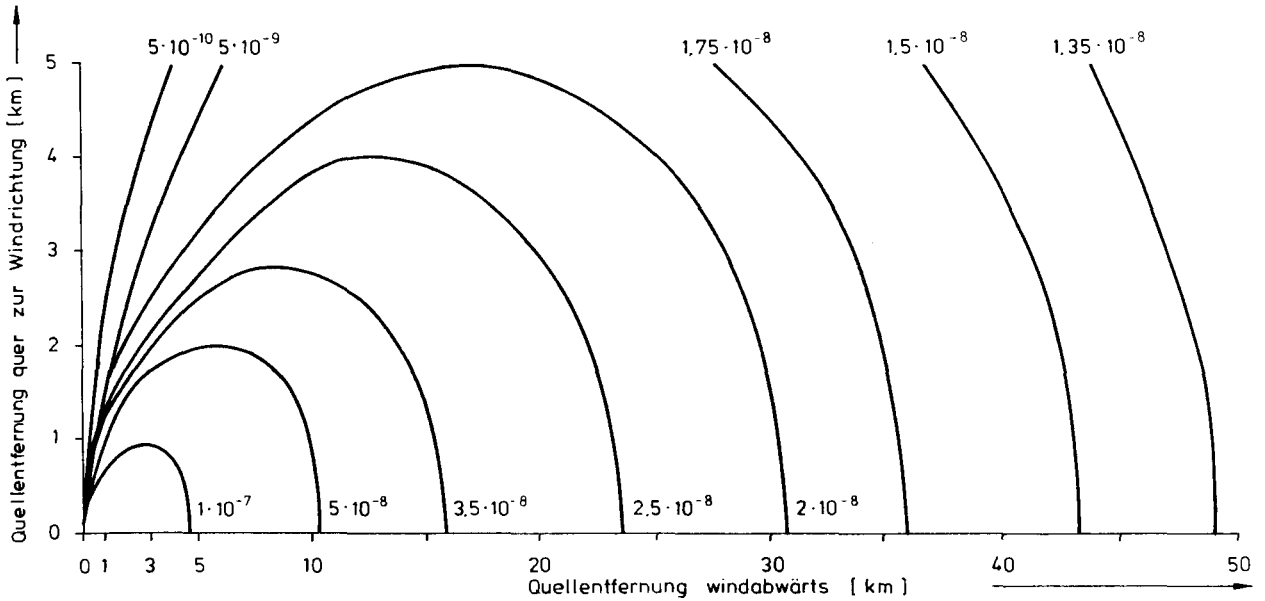


Abb. 18:

Isoplethen der normierten Immissionskonzentration  $\frac{C \cdot u}{Q}$  am Boden ( $z = 2$  m) für eine effektive Quellhöhe  $h = 20$  m, Ausbreitungsklasse V

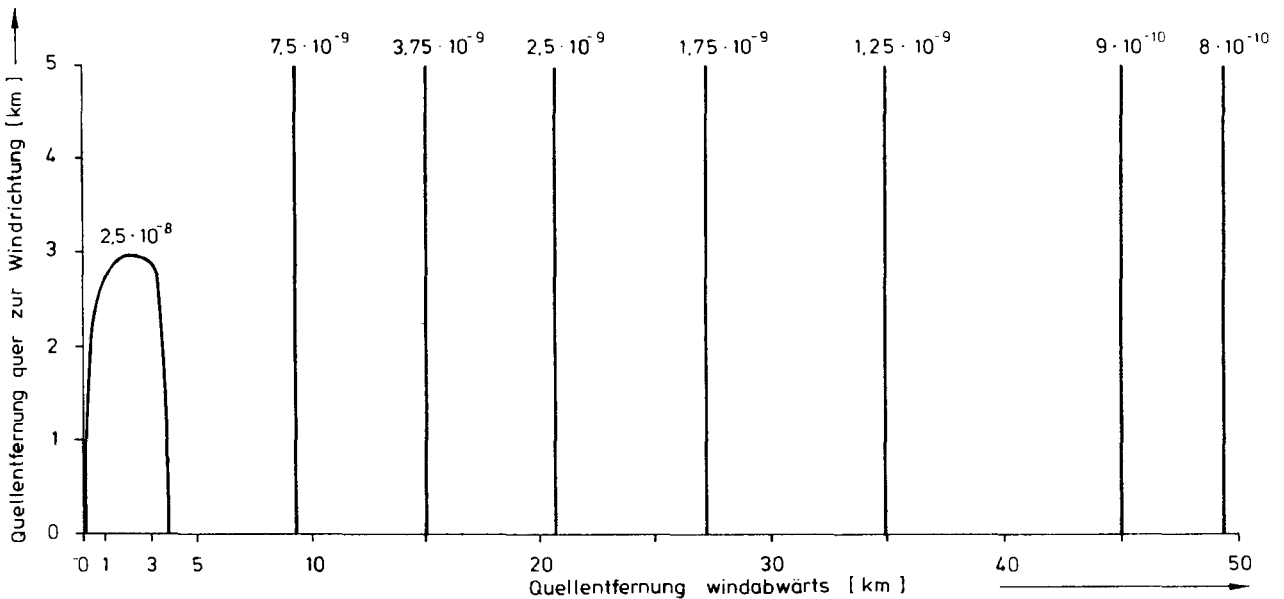


Abb. 19:

Isoplethen der normierten Immissionskonzentration  $\frac{C \cdot u}{Q}$  am Boden ( $z = 2$  m) für eine effektive Quellhöhe  $h = 100$  m, Ausbreitungsklasse V

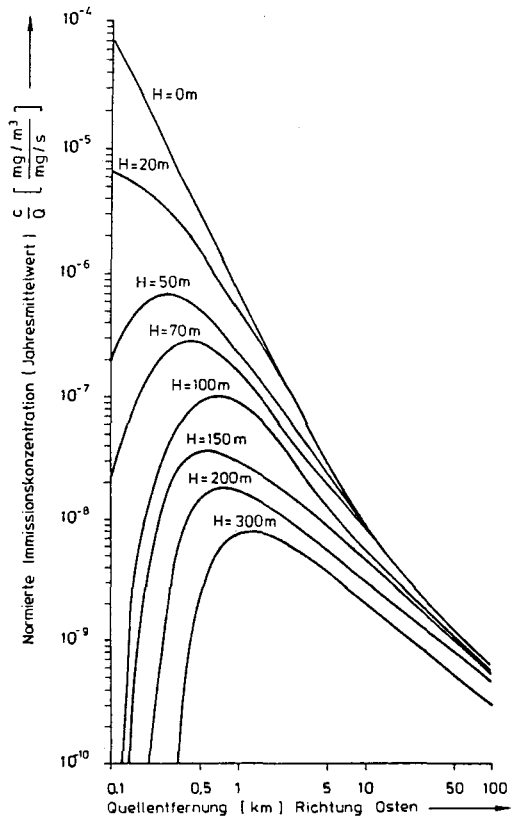


Abb. 20:  
 Jahresmittelwert der Immissionskonzentration am Boden ( $z = 2 \text{ m}$ ), Meteorologische Parameter von Bocholt, H : Schornsteinbauhöhe

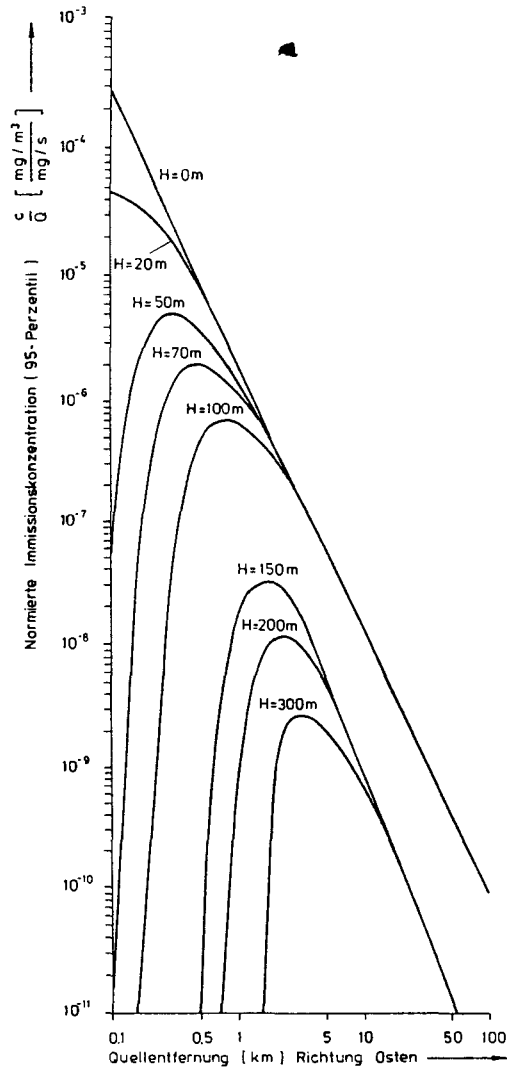


Abb. 21:  
 95-Perzentil der Immissionskonzentration am Boden ( $z = 2 \text{ m}$ ), Meteorologische Parameter von Bocholt, H : Schornsteinbauhöhe

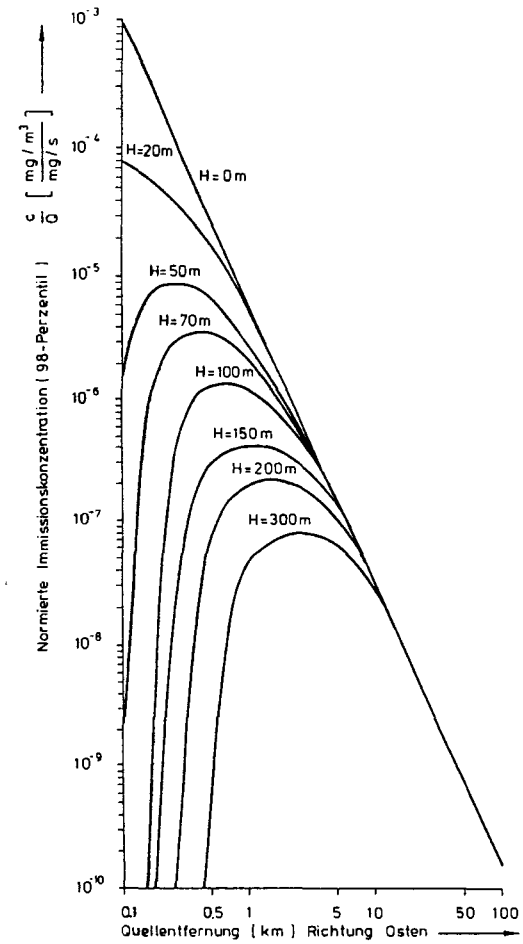


Abb. 22:  
 98-Perzentil der Immissionskonzentration am Boden ( $z = 2 \text{ m}$ ), Meteorologische Parameter von Bocholt, H : Schornsteinbauhöhe



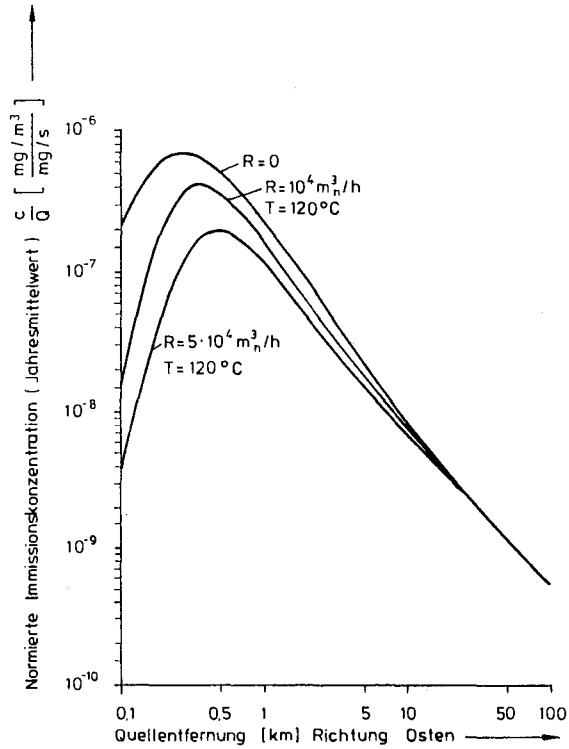


Abb. 23:  
 Jahresmittelwert der Immissionskonzentration am Boden ( $z = 2$  m) bei einer Schornsteinbauhöhe von 50 m, Meteorologische Parameter von Bocholt, R : Abgasvolumenstrom in  $m_n^3/h$ ; T : Austrittstemperatur der Abgase in  $^{\circ}C$

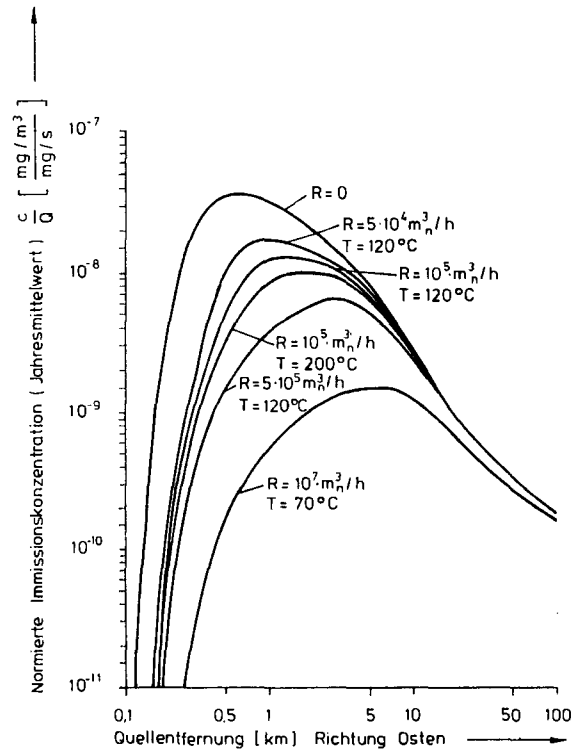


Abb. 24:  
 Jahresmittelwert der Immissionskonzentration am Boden ( $z = 2$  m) bei einer Schornsteinbauhöhe von 150 m, Meteorologische Parameter von Bocholt, R : Abgasvolumenstrom in  $m_n^3/h$ ; T : Austrittstemperatur der Abgase in  $^{\circ}C$

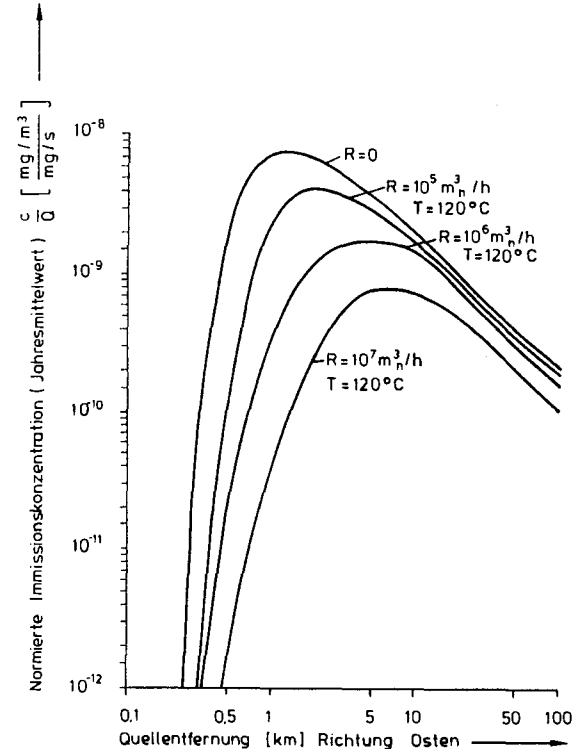


Abb. 25:  
 Jahresmittelwert der Immissionskonzentration am Boden ( $z = 2$  m) bei einer Schornsteinbauhöhe von 300 m, Meteorologische Parameter von Bocholt, R : Abgasvolumenstrom in  $m_n^3/h$ ; T : Austrittstemperatur der Abgase in  $^{\circ}C$

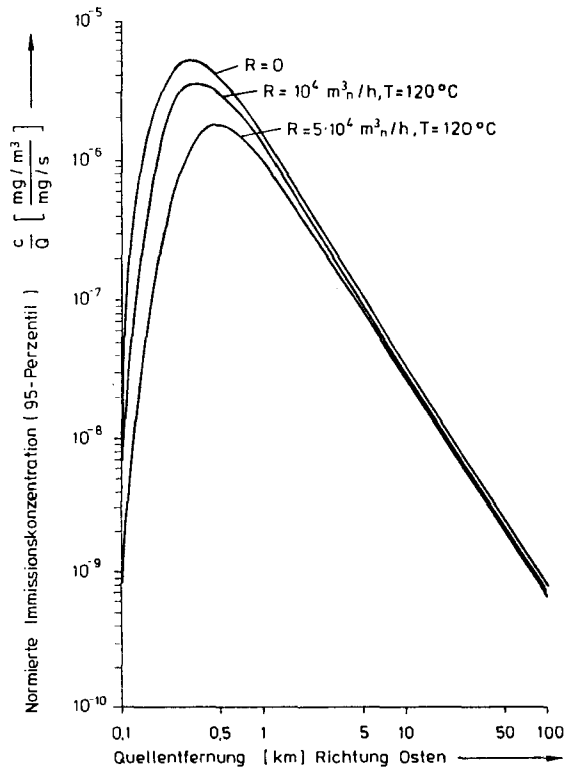


Abb. 26:  
 95-Perzentil der Immissionskonzentration am Boden ( $z = 2$  m) bei einer Schornsteinbauhöhe von 50 m, Meteorologische Parameter von Bocholt, R : Abgasvolumenstrom in  $\text{m}^3/\text{h}$ ; T : Austrittstemperatur der Abgase in  $^{\circ}\text{C}$

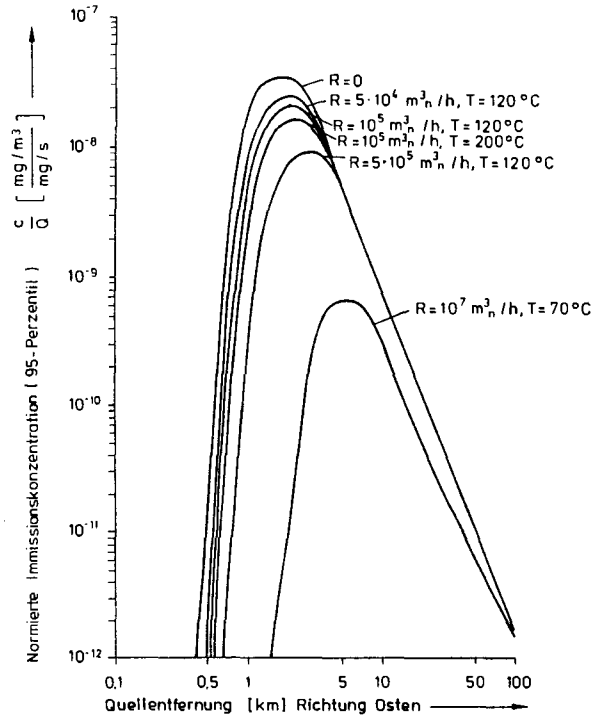


Abb. 27:  
 95-Perzentil der Immissionskonzentration am Boden ( $z = 2$  m) bei einer Schornsteinbauhöhe von 150 m, Meteorologische Parameter von Bocholt, R : Abgasvolumenstrom in  $\text{m}^3/\text{h}$ ; T : Austrittstemperatur der Abgase in  $^{\circ}\text{C}$

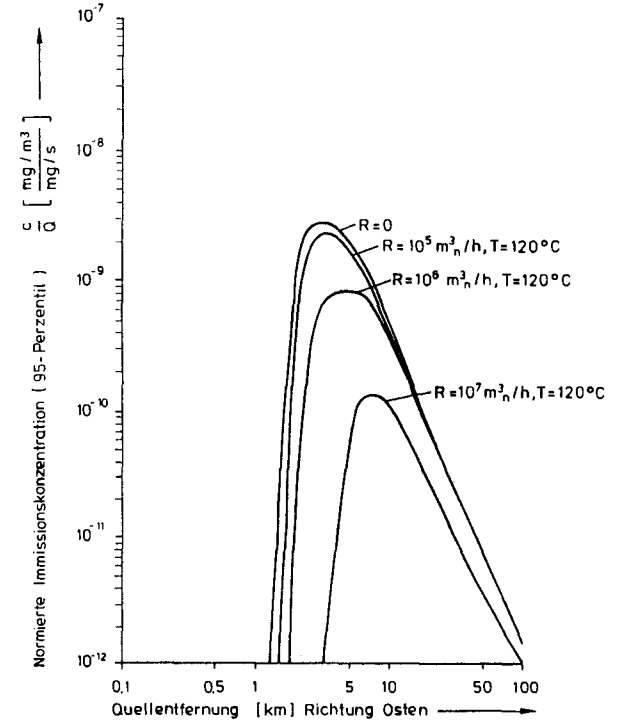


Abb. 28:  
 95-Perzentil der Immissionskonzentration am Boden ( $z = 2$  m) bei einer Schornsteinbauhöhe von 300 m, Meteorologische Parameter von Bocholt, R : Abgasvolumenstrom in  $\text{m}^3/\text{h}$ ; T : Austrittstemperatur der Abgase in  $^{\circ}\text{C}$

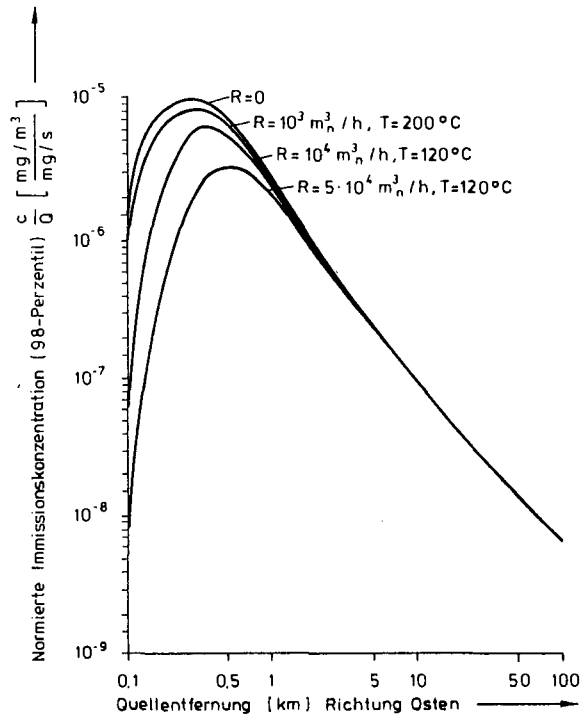


Abb. 29:  
 98-Perzentil der Immissionskonzentration am Boden ( $z = 2$  m) bei einer Schornsteinbauhöhe von 50 m, Meteorologische Parameter von Bocholt, R : Abgasvolumenstrom in  $\text{m}_n^3/\text{h}$ ; T : Austrittstemperatur der Abgase in  $^\circ\text{C}$

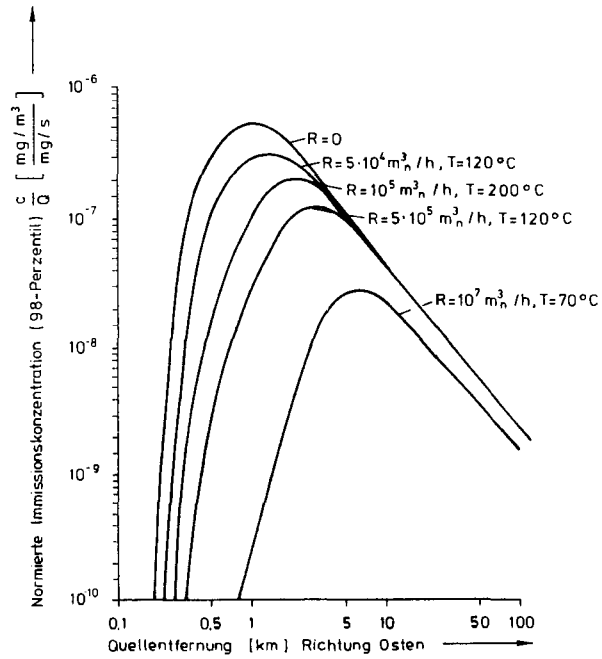


Abb. 30:  
 98-Perzentil der Immissionskonzentration am Boden ( $z = 2$  m) bei einer Schornsteinbauhöhe von 150 m, Meteorologische Parameter von Bocholt, R : Abgasvolumenstrom in  $\text{m}_n^3/\text{h}$ ; T : Austrittstemperatur der Abgase in  $^\circ\text{C}$

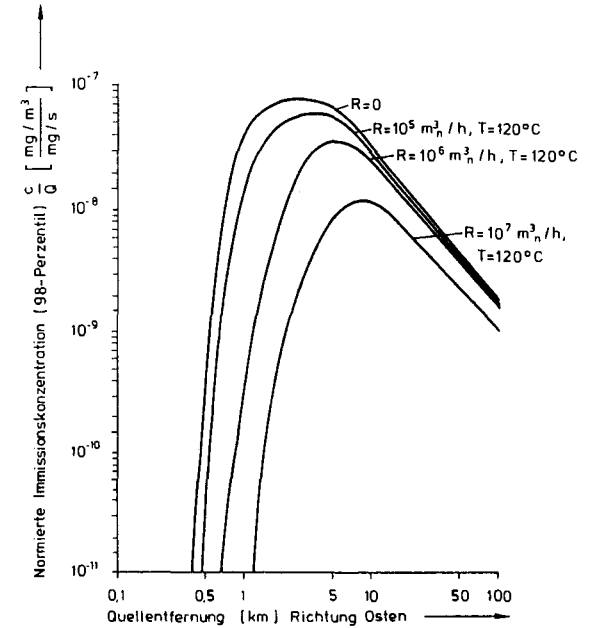


Abb. 31:  
 98-Perzentil der Immissionskonzentration am Boden ( $z = 2$  m) bei einer Schornsteinbauhöhe von 300 m, Meteorologische Parameter von Bocholt, R : Abgasvolumenstrom in  $\text{m}_n^3/\text{h}$ ; T : Austrittstemperatur der Abgase in  $^\circ\text{C}$

Berichte der

LANDESANSTALT FÜR IMMISSIONSSCHUTZ DES LANDES NORDRHEIN-WESTFALEN, ESSEN

- LIS-Berichte -

Die LIS-Berichte haben spezielle Themen aus den wissenschaftlichen Untersuchungen der LIS zum Gegenstand. Die in der Regel umfangreichen Texte sind nur in begrenzter Auflage vorrätig. Sie werden - soweit nicht vergriffen - Interessenten auf Anforderung kostenlos zur Verfügung gestellt. Alle LIS-Berichte - auch die vergriffenen - stehen Interessenten in zahlreichen Universitäts- und Hochschulbibliotheken zur Einsichtnahme und Ausleihe zur Verfügung.

Anforderungen sind zu richten an die

Landesanstalt für Immissionsschutz  
des Landes Nordrhein-Westfalen  
Wallneyer Str. 6  
4300 E s s e n 1

- Berichte-Nr. 1: KRAUTSCHEID, S. und P. NEUTZ:  
(vergriffen) LIDAR zur Fernüberwachung von Staubemissionen.  
- Nachweis der Kalibrierfähigkeit eines LIDAR-Systems - (1978).
- Berichte-Nr. 2: BUCK, M.:  
(vergriffen) Die Bedeutung unterschiedlicher Randbedingungen bei der Messung und Beurteilung der Luftqualität (1978).
- Berichte-Nr. 3: SCHEICH, G.:  
(vergriffen) Entwicklung und Anwendung von Ausbreitungsmodellen und Luftüberwachungsprogramme in den USA (1979).
- Berichte-Nr. 4: SPLITTGERBER, H. und K.H. WIETLAKE:  
(vergriffen) Ermittlung der Luftschalldämmung von Bauelementen für Industriebauten am Bau (1979).
- Berichte-Nr. 5: SPLITTGERBER, H.:  
(vergriffen) Zur Problematik der Meßgrößen und Meßwerte bei Erschütterungsmissionen (1979).
- Berichte-Nr. 6: STRAUCH, H. und K.H. GOLDBERG:  
(vergriffen) Ermittlung der Dämmwirkung von Dachentlüftern für Werkshallen im Einbauzustand unter Berücksichtigung der baulichen Nebenwege (1979).
- Berichte-Nr. 7: KRAUSE, G.M.H., B. PRINZ UND K. ADAMEK:  
(vergriffen) Untersuchungen zur Anwendbarkeit der Falschfarbenfotografie für die Aufdeckung und Dokumentation von Immissionswirkungen auf Pflanzen (1980).
- Berichte-Nr. 8: WIETLAKE, K.H.:  
(vergriffen) Erschütterungsminderung durch "Direktabfederung" von Schabotte-Schmiedehämmern (1980).
- Berichte-Nr. 9: STRAUCH, H.:  
(vergriffen) Methoden zur Aufstellung von Lärminderungsplänen (1980).
- Berichte-Nr. 10: HILLEN, R.:  
(vergriffen) Untersuchung zur flächenbezogenen Geräuschbelastungs-Kennzeichnung -Ziele, Methodik, Ergebnisse- (1980).
- Berichte-Nr. 11: MANNS, H., H. GIES und W. STRAMPLAT:  
(vergriffen) Erprobung des Staub-Immissionsmeßgerätes FH62I für die kontinuierliche Bestimmung der Schwebstoffkonzentration in Luft (1980).
- Berichte-Nr. 12: GIEBEL, J.:  
(vergriffen) Verhalten und Eigenschaften atmosphärischer Sperrschichten (1981).
- Berichte-Nr. 13: BRÖKER, G., H. GLIWA und E. MEURISCH:  
Abscheidegrade von biologisch- und chemisch-aktiven Aggregaten zur Desodorierung osmogener Abluft von Tierkörperbeseitigungsanlagen (1981).

- Berichte-Nr. 14: BRANDT, C.J.:  
(vergriffen) Untersuchungen über Wirkungen von Fluorwasserstoff auf Lolium Multiflorum und andere Nutzpflanzen (1981).
- Berichte-Nr. 15: WELZEL, K. und H.D. WINKLER:  
(vergriffen) Emission und interner Kreislauf von Thallium bei einem Drehrohfen mit Schwebegaswärmeaustauscher zur Herstellung von Portlandzementklinker unter Einsatz von Purpurerz als Eisenträger. - 1. Bericht - (1981).
- Berichte-Nr. 16: PRINZ, B. und E. KOCH:  
(vergriffen) Umweltpolitik und technologische Entwicklung in der VR China (1984).
- Berichte-Nr. 17: BRÖKER, G. und H. GLIWA:  
(vergriffen) Untersuchungen zu den Dioxin-Emissionen aus den kommunalen Hausmüllverbrennungsanlagen in Nordrhein-Westfalen (1982).
- Berichte-Nr. 18: BUCK, M., H. IXFELD und K. ELLERMANN:  
Die Entwicklung der Immissionsbelastung in den letzten 15 Jahren in der Rhein-Ruhr-Region (1982).
- Berichte-Nr. 19: PFEFFER, H.U.:  
(vergriffen) Das Telemetrische Echtzeit-Mehrkomponenten-Erfassungssystem TEMES zur Immissionsüberwachung in Nordrhein-Westfalen (1982).
- Berichte-Nr. 20: BACH, R.W.:  
(vergriffen) Über Schätzfunktionen zur Bestimmung hoher Quantile der Grundgesamtheit luftverunreinigender Schadstoffkonzentrationen aus Stichproben (1982).
- Berichte-Nr. 21: STRAUCH, H.:  
(vergriffen) Hinweise zur Anwendung flächenbezogener Schalleistungspegel (1982).
- Berichte-Nr. 22: SPLITTGERBER, H.:  
(vergriffen) Verfahren zur Auswertung von Erschütterungsmessungen und zur Beurteilung von Erschütterungsimmissionen (1982).
- Berichte-Nr. 23: KRAUSE, G.M.H.:  
(vergriffen) Immissionswirkungen auf Pflanzen - Forschungsschwerpunkte in den Vereinigten Staaten von Amerika. Bericht über eine Reise in die USA und die Teilnahme am 13. Air Pollution Workshop in Ithaca, N. Y., in der Zeit vom 02.05.-24.05.1981 (1982).
- Berichte-Nr. 24: KÜLSKE, S.:  
(vergriffen) Analyse der Periode sehr hoher lokaler Schadstoffbelastungen im Ruhrgebiet vom 15.01.1982 bis 20.01.1982 (1982).
- Berichte-Nr. 25: VAN HAUT, H. und G.H.M. KRAUSE:  
(vergriffen) Wirkungen von Fluorwasserstoff-Immissionen auf die Vegetation (1982).
- Berichte-Nr. 26: KOCH, E., V. THIELE, J. GIEBEL, H. STRAUCH und P. ALTENBECK:  
Empfehlungen für die problemgerechte Erstellung von Immissionsschutzgutachten in Bauleitplanverfahren (1982).
- Berichte-Nr. 27: MANNS, H., H. GIES und G. NITZ:  
(vergriffen) Verbesserung der Zuverlässigkeit und Vergleichbarkeit von Messungen zur Ermittlung aromatischer Kohlenwasserstoffe in der Außenluft (1982).
- Berichte-Nr. 28: PRINZ, B., G.M.H. KRAUSE und H. STRATMANN:  
Vorläufiger Bericht der Landesanstalt für Immissionsschutz über Untersuchungen zur Aufklärung der Waldschäden in der Bundesrepublik Deutschland (1982).
- Berichte-Nr. 29: GIEBEL, J.:  
(vergriffen) Untersuchungen über Zusammenhänge zwischen Sperrschichthöhen und Immissionsbelastung (1983).

- Berichte-Nr. 30: MANN, H. und H. GIES:  
Ergebnisse der Laborprüfung und Optimierung des meßtechnischen Teiles der Ozon-  
Meßplätze im Meßnetz LIMES-TEMES (1983).
- Berichte-Nr. 31: BEINE, H., R. SCHMIDT UND M. BUCK:  
(vergriffen) Ein Meßverfahren zur Bestimmung des Schwefelsäure- und Sulfatgehaltes in Luft  
(1983).
- Berichte-Nr. 32: BEIER, R. und P. BRUCKMANN:  
Messung und Analyse von Kohlenwasserstoff-Profilen im Rhein-Ruhrgebiet (1983).
- Berichte-Nr. 33: FRONZ, W.:  
(vergriffen) Ermittlung von Verkehrsgeräusch-Immissionen  
- zum tageszeitlichen Verlauf des Geräuschpegels und des Verkehrsaufkommens an  
Bundes- und Sammelstraßen (1983).
- Berichte-Nr. 34: BRÖKER, G.:  
Zusammenfassende Darstellung der Emissionssituation in Nordrhein-Westfalen und  
der Bundesrepublik Deutschland für Stickstoffoxide (1983).
- Berichte-Nr. 35: PIORR, D. und R. HILLEN:  
Veränderung akustischer Kenngrößen infolge der nächtlichen Abschaltung von  
Lichtsignalanlagen (1983).
- Berichte-Nr. 36: BUCK, M., H. IXFELD und K. ELLERMANN:  
(vergriffen) Benzol-Immissionsmessungen im Lande Nordrhein-Westfalen (1983).
- Berichte-Nr. 37: BACH, R.-W. und H. STRATMANN:  
Untersuchungen zur Bestimmung der Aufnahme rate des IRMA-Gerätes bei verschiedenen  
Anströmverhältnissen (1983).
- Berichte-Nr. 38: WIETLAKE, K.H.:  
(vergriffen) Beurteilung und Minderung tieffrequenter Geräusche (1983).
- Berichte-Nr. 39: STRAUCH, H. und K. SCHWENGER:  
(vergriffen) Geräusche und Erschütterungen, verursacht durch elektrisch angetriebene  
Wärmepumpen (1983).
- Berichte-Nr. 40: BRÖKER, G. und B. SCHILLING:  
Schwermetallemissionen bei der Verbrennung kommunaler Klärschlämme (1983).
- Berichte-Nr. 41: HILLEN, R.:  
(vergriffen) Über Möglichkeiten zur Verbesserung der Qualität von Schießgeräuschmessungen im  
Immissionsbereich (1983).
- Berichte-Nr. 42: KLEIN, M.:  
(vergriffen) Untersuchung zur Schallausbreitung im Freien - Ziele, Physik der  
Schallausbreitung, Vorgehensweise, Ergebnisse - (1983).
- Berichte-Nr. 43: PFEFFER, H.-U., S. KÜLSKE und R. BEIER:  
(vergriffen) Jahresbericht 1981 über die Luftqualität an Rhein und Ruhr.  
Ergebnisse aus dem telemetrischen Immissionsmeßnetz TEMES in Nordrhein-Westfalen.  
(1984)
- Berichte-Nr. 44: BUCK, M., H. IXFELD und R. BEIER:  
Immissionsbelastung durch Fluor-Verbindungen in der Nachbarschaft der  
Aluminiumhütte LMG in Essen. (1984).
- Berichte-Nr. 45: STRAUCH, H. und R. HILLEN:  
(vergriffen) Geräuschimmissionen in Großstädten; Flächenbezogene Kennzeichnung dieser  
Geräuschimmissionen (1984).
- Berichte-Nr. 46: BUCK, M. und P. BRUCKMANN:  
(vergriffen) Air quality surveillance in the Federal Republic of Germany (1984).

- Berichte-Nr. 47: BEIER, R.:  
Kohlenwasserstoffbelastung in Ahlen - eine statistische Analyse -. (1984)
- Berichte-Nr. 48: SCHADE, H.:  
(vergriffen) Prognose der Schadstoffemissionen aus Verbrennungsanlagen im Belastungsgebiet Rheinschiene-Süd für die Jahre 1985 und 1990. (1984)
- Berichte-Nr. 49: STRATMANN, H.:  
Wirkungen von Luftverunreinigungen auf die Vegetation.  
Bewertung der Luftanalyse auf der Grundlage weiterentwickelter Dosis-  
Wirkungsbeziehungen für Schwefeldioxid und Ozon zur Ursachenaufklärung der  
neuartigen Waldschäden. (1984)
- Berichte-Nr. 50: GOLDBERG, K.H.:  
(vergriffen) Untersuchungen zu Schießlärminderungen, dargestellt an Fallbeispielen. (1984)
- Berichte-Nr. 51: HERPERTZ, E., J. ASSMANN, D. KRANE, E. HARTMANN, B. STECK, E. BREWIG und  
(vergriffen) J. KROCHMANN:  
Messen und Beurteilen von Lichtimmissionen (1984).
- Berichte-Nr. 52: Pfeffer, H.-U.:  
(vergriffen) Qualitätssicherung in automatischen Immissionsmeßnetzen.  
Teil 3: Ringversuche der staatlichen Immissions- Meß- und Erhebungsstellen in der  
Bundesrepublik Deutschland (STIMES).  
Ergebnisse für die Komponenten SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub>, O<sub>3</sub> und CO. (1984).
- Berichte-Nr. 53: BEIER, R.:  
(vergriffen) Zur Planung und Auswertung von Immissionsmessungen gemäß TA-Luft 1983. (1985).
- Berichte-Nr. 54: BRÖKER, G. und H. GLIWA:  
Polychlorierte Dibenzodioxine und Furane in den Filterstäuben und Schlacken der  
zwölf Hausmüllverbrennungsanlagen in Nordrhein-Westfalen sowie einiger  
Sondermüllverbrennungsanlagen. (1985).
- Berichte-Nr. 55: KÜLSKE, S., J. GIEBEL, H.-U. PFEFFER und R. BEIER:  
ANALYSE der Smoglage vom 16. bis 21. Januar 1985 im Rhein-Ruhr-Gebiet.  
Teil 1: Text- und Bildband. (1985).  
Teil 2: Meßergebnisse. (1985).
- Berichte-Nr. 56: SPLITTGERBER, H., M. KLEIN und P. NEUTZ:  
Untersuchungen zur Ermittlung der Wahrnehmungsschwelle bei Einwirkung von  
Erschütterungen auf den Menschen - Beschreibung der Versuchsanlage - (1985).
- Berichte-Nr. 57: PRINZ, B., J. HRADECKÝ, H.-U. PFEFFER, H.W. ZÖTTL und H.-K. LICHTENTHALER:  
(vergriffen) Forschungsergebnisse zur Problematik der neuartigen Waldschäden. (1985).
- Berichte-Nr. 58: GIEBEL, J. und W. STRAMPLAT:  
Untersuchung über die Eignung des Korrelationsspektrometers Cospec V zur  
Bestimmung des Transportes von Schwefeldioxid bzw. Stickstoffdioxid. (1986).
- Berichte-Nr. 59: PRINZ, B., D. SCHWELA, E. KOCH, S. GANSER und T. EIKMANN:  
Untersuchungen zum Einfluß von Luftverunreinigungen auf die Häufigkeit von  
Pseudokrupperkrankungen im Stadtgebiet Essen. (1986).
- Berichte-Nr. 60: MANNS, H. und H. GIES:  
Ergebnis der Erprobung des automatischen Ozon-Meßgerätes Dasibi, Typ 1008 AH  
(1986).
- Berichte-Nr. 61: SPLITTGERBER, H.:  
(vergriffen) Messung und Beurteilung von Erschütterungsmissionen - Vergleich verschiedener  
Verfahren - (1986).
- Berichte-Nr. 62: BUCK, M. und P. KIRSCHMER:  
(vergriffen) Immissionsmessungen polychlorierter Dibenzop-Dioxine und Dibenzofurane in  
Nordrhein-Westfalen. (1986).
- Berichte-Nr. 62: BUCK, M. und P. KIRSCHMER:  
Measurements of Polychlorinated Dibenzop-dioxins and Dibenzofurans in Outdoor  
Air. (Übersetzung des 1986 erschienenen LIS-Berichtes Nr. 62).  
(1987).

- Berichte-Nr. 63: GIEBEL, J.:  
Untersuchung über die praktische Anwendung eines numerischen Ausbreitungsmodells  
(K-Modell) für die Praxis der Immissions-Simulation. (1986)
- Berichte-Nr. 64: WINKLER, H.D.:  
Thalliumemissionen bei der Zementherstellung - Ursachen und Minderungsmaßnahmen -  
(1986).
- Berichte-Nr. 65: WIETLAKE, K.H.:  
(vergriffen) Erschütterungseinwirkung durch Exzenter-Schmiedepressen und ihre Minderung durch  
Direktabfederung.  
(1986)
- Berichte-Nr. 66: Viertes Symposium über die Technik der Kernreaktorfernüberwachungssysteme am  
8. und 9.10.1986 in der LIS, Essen.  
(1986).
- Berichte-Nr. 67: ASSMANN, H.:  
(vergriffen) Hinweise zur Prognose von Geräuschimmissionen im Rahmen von Genehmigungsverfahren  
nach dem Bundes-Immissionsschutzgesetz.  
(1986)
- Berichte-Nr. 68: MANNS, H. und H. GIES:  
(vergriffen) Erprobung des Schwebstaubmeßgerätes FH 62 I 3 m<sup>3</sup>/h für die automatisierte Immis-  
sionsmessung.  
(1986)
- Berichte-Nr. 69: BEINE, H.:  
Phosphorsäureester und verwandte Verbindungen - Umweltrelevanz und luftanalyti-  
sche Bestimmung.  
(1987)
- Berichte-Nr. 70: BUCK, M. und H.-U. PFEFFER:  
Air quality surveillance in the state North-Rhine-Westphalia  
(Federal Republic of Germany).  
(1987)
- Berichte-Nr. 71: WEFERS, H. und H. KATZER:  
Zusammenstellung von zusätzlichen sicherheitstechnischen Anforderungen an Anlagen  
zur Lagerung von druckverflüssigtem Ammoniak in Kraftwerken.  
(1987)
- Berichte Nr. 72: BEIER, R., J. KOHLERT und M. BUCK:  
(vergriffen) Entwicklung der Immissionsbelastung in der Umgebung der Aluminiumhütte im Essener  
Norden in den Jahren 1984-1986.  
(1987)
- Berichte Nr. 73: SCHADE, H.:  
Erstellung eines Emissionskatasters und einer Emissionsprognose für Feuerungsan-  
lagen im Sektor Haushalte und Kleinverbraucher des Belastungsgebietes Ruhrgebiet  
Ost.  
(1987)
- Berichte Nr. 74: BEIER, R. und M. BUCK:  
Möglichkeit und Grenzen der Nutzung von Luftqualitätsdaten aus diskontinuierli-  
chen Messungen gemäß TA-Luft.  
(1988)
- Berichte Nr. 75: KOCH, E. und P. ALTENBECK:  
Prinzipien des prophylaktischen Immissionsschutzes.  
(1988)