

VEREIN
DEUTSCHER
INGENIEURE

Ausbreitung von Luftverunreinigungen
in der Atmosphäre
Berechnung der Abgasfahnenüberhöhung

VDI 3782

Blatt 3 / Part 3

Dispersion of Air Pollutants
in the Atmosphere
Determination of Plume Rise

Ausg. deutsch/englisch
Issue German/English

Der Entwurf 9.83 dieser Richtlinie wurde mit Ankündigung im Bundesanzeiger einen öffentlichen Einspruchsverfahren unterworfen.

Die deutsche Version dieser Richtlinie ist verbindlich.

The draft 9/83 of this Guideline has been subject to public scrutiny after announcement in the Bundesanzeiger (Federal Gazette).

No guarantee can be given with respect to the English translation.

The German version of this Guideline shall be taken as authoritative.

Inhalt	Seite	Contents	Page
Vorbemerkung	2	Preliminary Note	2
1 Einleitung	2	1 Introduction	2
1.1 Anmerkungen	4	1.1 Notes	4
2 Überhöhungsgleichungen	7	2 Plume Rise Equations	7
2.1 Warme Quellen (Wärmeemission $Q > 1,4$ MW)	8	2.1 Hot Sources (Heat Emission $Q > 1.4$ MW)	8
2.2 „Kalte“ Quellen (Wärmeemission $Q \leq 1,4$ MW)	10	2.2 "Cold" Sources (Heat Emission $Q \leq 1.4$ MW)	10
2.2.1 Bestimmung des Anstiegs der Abgasfahne	11	2.2.1 Determination of the Ascending Plume	11
3 Berechnung von Hilfsgrößen der Abgasfahnenüberhöhung	11	3 Determination of Plume Rise Parameters	11
3.1 Windgeschwindigkeit	11	3.1 Wind Speed	11
3.2 Austrittsgeschwindigkeit der Abgase und Mündungsdurchmesser des Schornsteins	12	3.2 Stack Effluent Velocity and Stack Opening Diameter	12
3.3 Wärmeemission	12	3.3 Heat Emission	12
3.4 Umrechnung des Abgasvolumenstroms von Betriebs- auf Normalbedingungen	13	3.4 Conversion of the Emission Volume Flux from Operation Condition into Standard Condition	13
Formelzeichen und Begriffe	13	Nomenclature	13
Schrifttum	15	References	15

VDI-Kommission Reinhaltung der Luft
Arbeitsgruppe Überhöhung
im Ausschuß Gaußsche Ausbreitungsmodelle

Frühere Ausgabe: 9.83 Entwurf
(Former edition: 9/83 draft in German only)

Alle Rechte vorbehalten © VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf 1985
All rights reserved © VDI-Verlag GmbH, D-4000 Düsseldorf 1985

Zu beziehen durch Beuth Verlag GmbH, Berlin und Köln
Available from Beuth Verlag, D-1000 Berlin and D-5000 Köln

Lizenzierte Kopie von elektronischem Datenträger

Verfielßigkeitung — auch für innerbetriebliche Zwecke — nicht gestattet / Reproduction — even for internal use — not permitted

Vorbemerkung

Die vorliegende Richtlinie enthält Gleichungen zur Berechnung von Abgasfahnenüberhöhungen, wie sie bei Schornsteinhöhenberechnungen sowie Immissionssimulationen mit Hilfe von Ausbreitungsmodellen benötigt werden. Es wird zwischen dem Anstieg der Abgasfahne im Nahbereich der Quelle und dem Endwert der Abgasfahnenüberhöhung unterschieden. Bei größeren Wärmeemissionen gelten unterschiedliche Überhöhungsgleichungen für die einzelnen Ausbreitungsklassen.

Außerdem sind Gleichungen zur Berechnung der Wärmeemission, der Windgeschwindigkeit an der Schornsteinmündung und anderer Hilfsgrößen der Abgasfahnenüberhöhung angegeben.

Die vorliegende Richtlinie ist nicht auf Kühlturmfahnen oder in einen Kühlturm eingeleitete Abgasfahnen anwendbar. Für Abgasfahnen nach einer Rauschgaswäsche ergeben die Überhöhungsgleichungen eine untere Abschätzung.

1 Einleitung

Die aus einem Schornstein austretenden Abgase steigen aufgrund ihres thermischen Auftriebes und mechanischen Impulses in die Atmosphäre empor. Die Höhe über der Schornsteinmündung, welche die Abgase in einer bestimmten Quellenentfernung windabwärts erreichen, wird als Abgasfahnenüberhöhung bezeichnet. Sie ist in ebenem Gelände definiert als die Höhe der Abgasfahnenachse über dem Niveau der Schornsteinmündung, nachdem die mittlere Abgasfahne ihre „maximale“ Höhe erreicht hat bzw. ihr Impuls und Auftrieb nicht mehr zu einem beobachtbaren weiteren Aufstieg führen. Die Summe aus Abgasfahnenüberhöhung Δh und Schornsteinbauhöhe H ergibt die effektive Quellhöhe h (Bild 1):

$$h = H + \Delta h$$

Die Abgasfahnenüberhöhung sowie der allmähliche Anstieg der Abgasfahne, bevor sie die mittlere „maximale“ Höhe erreicht, läßt sich mit Hilfe von Abgasfahnen-Überhöhungsgleichungen in Abhängigkeit von Emissionsparametern und meteorologischen Parametern prognostizieren.

Nach eingehender Prüfung der entsprechenden Veröffentlichungen (siehe auch die Anmerkungen in Abschnitt 1.1 zur Auswahl der angegebenen Überhöhungsgleichungen) wurden folgende Abgasfahnen-Überhöhungsgleichungen als die geeignetsten angesehen:

Preliminary Note

This guideline contains equations for the determination of the plume rise, which are needed for stack height calculations as well as for the determination of the ambient air concentration fields by dispersion models. A distinction is made between the initial plume rise near the source and the final plume rise. For greater heat emission rates, different plume rise equations for the individual diffusion classes are to be applied.

Furthermore, equations for the determination of heat emission, wind speed at the top of the stack, and other parameters of plume rise are given.

This guideline is not valid for cooling tower plumes or plumes which are passed into a cooling tower. When plume rise equations are applied to plumes subjected to flue-gas washing, the plume rise equations represent lower limits of the calculation.

1 Introduction

The emissions of a stack rise into the atmosphere due to their thermal buoyancy and mechanical momentum. The height above the top of the stack which the emissions reach at a certain source distance downwind, is called plume rise. In flat terrain, plume rise is defined as the height of the plume center line above the stack height, after the mean plume has reached its “maximum” height, or if buoyancy and momentum do not lead to a further observable rise. The sum of plume rise Δh and stack height H is the effective source height h (Fig. 1):

$$h = H + \Delta h$$

The plume rise as well as the progressive rising of the plume before it reaches its mean “maximum” height, may be predicted by means of plume rise equations which are dependent on emission parameters and meteorological quantities.

After thorough examination of the respective publications (see also the notes in section 1.1 regarding the selection of the given plume rise equations), the following plume rise equations have been considered to be the most suitable ones:

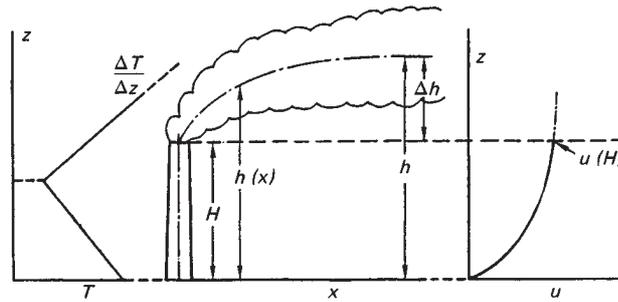


Bild 1. Definitionsgrößen zur Abgasfahnenüberhöhung (schematische Darstellung)

h	effektive Quelhöhe
$\Delta h(x)$	Abgasfahnen-Überhöhung vor Erreichen des Endwertes
H	Schornsteinbauhöhe
x	Quellentfernung
z	Höhe über Grund
u	Windgeschwindigkeit
$u(H)$	für die Abgasfahnenüberhöhung maßgebende Windgeschwindigkeit
T	Temperatur
$\Delta T/\Delta z$	Gradient der gemessenen Temperatur

Fig. 1. Parameters for the definition of plume rise (schematic representation)

h	effective source height
Δh	final plume rise
$\Delta h(x)$	plume rise before reaching the final value
H	stack height
x	source distance
z	height above ground
u	wind speed
$u(H)$	wind speed determining the plume rise
T	temperature
$\Delta T/\Delta z$	gradient of measured temperature

Für Wärmeemissionen von mehr als 1,4 MW¹⁾ werden in dieser Richtlinie die 1971 von Briggs [1] veröffentlichten Gleichungen empfohlen:

Labile Temperaturschichtung: Überhöhungsgleichung von Briggs für labile und neutrale Temperaturschichtung

Neutrale Temperaturschichtung: Gleichung wie für labile Temperaturschichtung, jedoch mit einem Abschlag von 30%, wobei der Anstieg der Abgasfahne in Nahbereich des Emittenten nur um 15% vermindert wurde

Stabile Temperaturschichtung: die entsprechenden Gleichungen von Briggs, in welche ein Temperaturgradient eingeht. Der Gradient wurde aufgrund der Messungen von Manier [2] ausgewählt.

Den unterschiedlichen Arten der Temperaturschichtung wird durch die Ausbreitungsklassen nach Klug/Manier [2] Rechnung getragen.

Für Wärmeemissionen von 1,4 MW und weniger (in dieser Richtlinie als „kalte“ Quellen bezeichnet) ist für alle Ausbreitungsklassen die Überhöhungsgleichung von Moses und Carson [3] für neutrale Temperaturschichtung bzw. eine auf Windkanalversuchen beruhende Überhöhungsgleichung [4] zu verwenden, sofern die Überhöhung vorwiegend durch den mechanischen Impuls aufgrund der Austrittsgeschwindigkeit der Abgase zustande kommt.

¹⁾ Die Grenze wurde bei der Wärmeemission $Q=1,4$ MW gezogen, weil an dieser die Zahlenwerte der Abgasfahnenüberhöhung für die warmen Quellen nach Briggs (neutral) und für die „kalten“ Quellen nach Moses/Carson (neutral) etwa gleich groß sind. Für Wärmeemissionen $Q < 1,4$ MW unterschätzt die Überhöhungsgleichung von Briggs die Abgasfahnenüberhöhung

For heat emissions of more than 1.4 MW¹⁾, the equations published by Briggs in 1971 [1] are recommended in this guideline as follows:

Unstable temperature stratification: Briggs' plume rise equation for unstable and neutral temperature stratification.

Neutral temperature stratification: The same equation as for unstable temperature stratification but with a reduction of 30% is recommended, whereby the rise of the plume near the source has been reduced only about 15%.

Stable temperature stratification: The corresponding equations according to Briggs are recommended into which a temperature gradient has been entered. The gradient has been selected on the basis of measurements carried out by Manier [2].

The different types of temperature stratification are taken into consideration by the diffusion classes established by Klug/Manier [2].

For heat emissions of 1.4 MW and less (called “cold” sources in this guideline), the plume rise equation of Moses and Carson [3] for neutral temperature stratification is to be applied, or a plume rise equation based on wind tunnel tests [4] is to be used, respectively, if the plume rise originates mainly in the mechanical momentum caused by the effluent speed of the emissions.

¹⁾ The limit has been set at heat emission $Q=1.4$ MW because the numerical values of the plume rise for hot sources according to Briggs (neutral) and for the “cold” sources according to Moses/Carson (neutral) are more or less equal at this limit. For heat emissions $Q < 1.4$ MW, Briggs' plume rise equation determines the lower limit of the plume rise.