

VEREIN
DEUTSCHER
INGENIEURE

Ausbreitung von Luftverunreinigungen in der
Atmosphäre
Berechnung der Abgasfahnenüberhöhung
Dispersion of air pollutants in the atmosphere
Determination of plume rise

VDI 3782
Blatt 3 / Part 3

Ausg. deutsch/englisch
Issue German/English

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

Die deutsche Version dieser Richtlinie ist verbindlich.

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

The German version of this standard shall be taken as authoritative. No guarantee can be given with respect to the English translation.

Inhalt	Seite
Vorbemerkung	2
Einleitung	2
1 Anwendungsbereich	3
2 Begriffe	4
3 Formelzeichen und Indizes	6
4 Überhöhung einer Abgasfahne	8
4.1 Prinzip	8
4.2 Berücksichtigung verschiedener Quellkonfigurationen	9
4.3 Erläuterungen zum Ablaufschema	9
5 Anwendungshinweise zur Praxis/ notwendige Eingangsdaten	15
6 Berechnung der Abgasfahnenüberhöhung	16
6.1 Konzept	16
6.2 Überhöhungsmodell	17
6.3 Parameter für die Ausbreitungsrechnung	22
Anhang A Äquivalenzwerte	23
Anhang B Beispielrechnung	24
Schrifttum	26

Contents	Page
Preliminary note	2
Introduction	2
1 Scope	3
2 Terms and definitions	4
3 Symbols and indices	6
4 Rise of a stack gas plume	8
4.1 Principle	8
4.2 Consideration of different source configurations	9
4.3 Explanation of the flow chart	9
5 Practical guidance/ necessary input data	15
6 Calculation of the stack gas plume rise	16
6.1 Concept	16
6.2 Plume rise model	17
6.3 Parameters for the dispersion calculation	22
Annex A Equivalent values	23
Annex B Example calculation	24
Bibliography	26

VDI/DIN-Kommission Reinhaltung der Luft (KRdL) – Normenausschuss
Fachbereich Umweltmeteorologie

VDI/DIN-Handbuch Reinhaltung der Luft, Band 1b: Umweltmeteorologie

Vorbemerkung

Der Inhalt dieser Richtlinie ist entstanden unter Beachtung der Vorgaben und Empfehlungen der Richtlinie VDI 1000.

Alle Rechte, insbesondere die des Nachdrucks, der Fotokopie, der elektronischen Verwendung und der Übersetzung, jeweils auszugsweise oder vollständig, sind vorbehalten.

Die Nutzung dieser Richtlinie ist unter Wahrung des Urheberrechts und unter Beachtung der Lizenzbedingungen (www.vdi.de/richtlinien), die in den VDI-Merkblättern geregelt sind, möglich.

Allen, die ehrenamtlich an der Erarbeitung dieser Richtlinie mitgewirkt haben, sei gedankt.

Eine Liste der aktuell verfügbaren und in Bearbeitung befindlichen Blätter dieser Richtlinienreihe sowie gegebenenfalls zusätzliche Informationen sind im Internet abrufbar unter www.vdi.de/3782.

Einleitung

Abgas kann aufgrund von Temperatur (thermischer Auftrieb), Austrittsgeschwindigkeit (mechanischer Impuls) und/oder Feuchte (thermischer Auftrieb durch Freiwerden latenter Wärme) über den Austrittsquerschnitt (Mündung) eines Schornsteins oder Kühlturms hinaus nach oben aufsteigen. Dieser Aufstieg der Abgasfahne wird als **Abgasfahnenüberhöhung** bezeichnet. Diese hängt sowohl von den Quelleigenschaften als auch von den Eigenschaften der Umgebungsluft ab.

Anmerkung: Im Allgemeinen wird bei Ableitung von Emissionen unterschieden zwischen Abgas und Abluft. Für die Fahnenüberhöhung und damit die Anwendung dieser Richtlinie ist diese Unterscheidung ohne Bedeutung. Abkürzend wird im Folgenden daher der Begriff „Abgas“ bzw. „Abgasfahnenüberhöhung“ auch bei Abluft verwendet.

Zur Ermittlung einer Immissionsbelastung ist auch die Kenntnis der Abgasfahnenüberhöhung notwendig. Diese Richtlinie stellt eine detaillierte Beschreibung der Abgasfahnenüberhöhung zur Verwendung in Ausbreitungsrechnungen bereit. Bei derartiger Fragestellung – nach sachkundiger Beurteilung – sind die Parameter entsprechend der Richtlinie zu berücksichtigen. Dies wird typischerweise bei niedrigen Quellen und bei Immissions-Fragestellungen im Nahbereich von Quellen von besonderer Bedeutung sein. Mit dem Ablaufschema zur Fallunterscheidung in dieser Richtlinie wird der Entscheidungsweg zur sachgerechten Anwendung unterstützt und es werden gegebenenfalls Konventionen festgelegt.

In der Vergangenheit wurden zur Ermittlung der Abgasfahnenüberhöhung überwiegend Parametrisierungen verwendet, die aus Messungen abgeleitet

Preliminary note

The content of this standard has been developed in strict accordance with the requirements and recommendations of the standard VDI 1000.

All rights are reserved, including those of reprinting, reproduction (photocopying, micro copying), storage in data processing systems and translation, either of the full text or of extracts.

The use of this standard without infringement of copyright is permitted subject to the licensing conditions (www.vdi.de/richtlinien) specified in the VDI Notices.

We wish to express our gratitude to all honorary contributors to this standard.

A catalogue of all available parts of this series of standards and those in preparation as well as further information, if applicable, can be accessed on the Internet at www.vdi.de/3782.

Introduction

Exhaust gas can rise above the outlet cross-section (outlet) of a stack or cooling tower due to temperature (thermal lift), exit velocity (mechanical impulse), and/or moisture (thermal lift due to release of latent heat). This rise of the stack gas plume is called **stack gas plume rise**. It depends on both the source properties and the properties of the ambient air.

Note: In general, a distinction is made in the discharge of emissions between stack gas and exhaust air. For the plume rise and thus the application of this standard, this distinction is irrelevant. In the following, the term “stack gas” or “stack gas plume rise” is also used for exhaust air.

To determine an immission load, knowledge of the stack gas plume rise is also necessary. This standard provides a detailed description of the stack gas plume rise for use in dispersion calculations. In such cases – after expert judgement – the parameters according to the standard shall be considered. This will typically be of particular importance for low sources and for immission questions in the vicinity of sources. The flow chart for case differentiation in this standard supports the decision-making process for proper application and, if necessary, conventions are specified.

In the past, the plume rise was mainly determined using parameterisations derived from measurements. These have the disadvantage that they are,

wurden. Diese haben den Nachteil, dass sie streng genommen nur für die jeweils während der Messungen herrschenden Bedingungen gültig sind.

Integrale Fahnenmodelle wie das hier in der Richtlinie beschriebene ermitteln die Abgasfahnenüberhöhung dagegen numerisch durch Lösung der Differenzialgleichungen, die sich aus den Erhaltungsgleichungen für die über den Fahnenquerschnitt gemittelten Größen ergeben [1]. Der Vorteil gegenüber der Parametrisierung nach der Vorgängerversion dieser Richtlinie (VDI 3782 Blatt 3:1985-06) besteht darin, dass die Abgasfahnenüberhöhung für beliebige Abgas- und Umgebungsbedingungen berechnet werden kann.

Der Modellansatz der Richtlinie betrachtet verschiedene Quellkonfigurationen und trifft Annahmen für die Abgasfahne und die atmosphärische Grenzschicht, wodurch eine sachgerechte Beschreibung der Abgasfahnenüberhöhung ermöglicht wird. Mit diesem Ansatz kann die Abgasfahnenüberhöhung bei Schornsteinen und Kühltürmen gleichermaßen behandelt werden. Diese Neufassung der Richtlinie ersetzt somit die bisherigen Richtlinien zur Abgasfahnenüberhöhung (VDI 3782 Blatt 3:1985-06 und VDI 3784 Blatt 2:1990-03).

Eine mögliche Realisation eines integralen Fahnenmodells zur Berechnung der Abgasfahnenüberhöhung ist das Modell PLURIS [1], das als Grundlage für das in dieser Richtlinie beschriebene Modell dient. Die vorliegende Richtlinie beschreibt das Überhöhungsmodell einschließlich der Randbedingungen, seinen Anwendungsbereich und die Anknüpfung an ein Partikelmodell nach Richtlinie VDI 3945 Blatt 3.

Es können Quellkonfigurationen auftreten, die nicht unmittelbar in das Ablaufschema der Richtlinie übertragbar oder für die nicht alle notwendigen Parameter bekannt sind. In solchen Fällen kann auf anwendbare Teile des hier festgelegten Ablaufschemas zurückgegriffen und mit sachgerechten und begründeten weiteren Ansätzen die Überhöhung bestimmt werden.

1 Anwendungsbereich

Diese Richtlinie behandelt gefasste Quellen mit vertikalem Austritt. Das in dieser Richtlinie beschriebene integrale Fahnenmodell zur Abgasfahnenüberhöhung wurde für einzelne, freistehende und einzügige Schornsteine entwickelt und setzt deshalb im Allgemeinen einen ungestörten Abtransport des Abgases mit der freien Luftströmung voraus (siehe Richtlinie VDI 3781 Blatt 4).

Obwohl in der für diese Richtlinie zugrunde liegenden Version der Einfluss des einzelnen Schorn-

strictly speaking, only valid for the conditions prevailing during the measurements.

In contrast, integral plume models such as the one described here in the standard determine the stack gas plume rise numerically by solving the differential equations resulting from the conservation equations for the quantities averaged over the plume cross-section [1]. The advantage over the parameterisation according to the previous version of this standard (VDI 3782 Part 3:1985-06) is that the plume rise can be calculated for any stack gas and ambient conditions.

The modelling approach of the standard considers different source configurations and makes assumptions for the plume and the atmospheric boundary layer, which enables a proper description of the plume rise. With this approach, plume rise can be treated equally for stacks and cooling towers. This new version of the standard thus replaces the previous standards on stack gas plume rise (VDI 3782 Part 3:1985-06 and VDI 3784 Part 2:1990-03).

One possible realisation of an integral plume model for the calculation of the stack gas plume rise is the PLURIS model [1], which serves as a basis for the model described in this standard. The present standard describes the plume rise model including the boundary conditions, its scope of application, and the coupling to a particle model according to the standard VDI 3945 Part 3.

Source configurations can occur that are not directly transferable to the flow chart of the standard or for which all necessary parameters are not known. In such cases, applicable parts of the flow chart specified here can be used and the plume rise can be determined with appropriate and justified further approaches.

1 Scope

This standard deals with ducted sources with vertical discharge. The integral plume rise model described in this standard was developed for single, free-standing and single-flue stacks and therefore generally assumes undisturbed stack gas discharge with the free air flow (see standard VDI 3781 Part 4).

Although the version on which this standard is based takes into account the influence of the single

steins auf die Abgasfahnenüberhöhung in Form des „Stack-tip Downwashes“ berücksichtigt wird, kann es bei Modellen zur Abgasfahnenüberhöhung und mehrzügigen oder mehreren dicht nebeneinander liegenden Schornsteinen Einschränkungen in der Anwendung geben, die in dieser Richtlinie behandelt werden.

Das Modell zur Abgasfahnenüberhöhung kann sowohl für sich allein als auch in Verbindung mit Ausbreitungsmodellen, z.B. Partikelmodellen nach Richtlinie VDI 3945 Blatt 3, angewendet werden.

Einflüsse auf die Fahnenausbreitung durch Hindernisse wie Gebäude, Schornsteine oder dichter Bewuchs in der Nähe des betrachteten Schornsteins werden in dem beschriebenen Modell zur Abgasfahnenüberhöhung nicht berücksichtigt. Solche Einflüsse können mithilfe eines geeigneten Windfeldmodells näherungsweise berücksichtigt werden. Das Modell gilt sowohl für trockene als auch für feuchte Abgase und für Kühlturmabgase. Bei der Betrachtung der Ableitung von Abgasen über einen Kühlturm wird davon ausgegangen, dass an der Kühlturmoberkante eine hinreichende Durchmischung vorliegt, sodass das Überhöhungsverhalten des Abgases durch das des Kühlturmschwadens beschrieben wird.

Das Überhöhungsmodell und einige der hier aufgeführten Festlegungen (z.B. das Abbruchkriterium) sind im Prinzip auch für Situationen außerhalb des hier betrachteten Anwendungsbereichs einsetzbar (z.B. für nicht vertikalen Austritt des Abgases).

stack on the stack gas plume rise in terms of the stack-tip downwash, there can be restrictions in the application for stack gas plume rise models and multi-flues or several closely adjacent stacks, which are dealt with in this standard.

The plume rise model can be used on its own or in combination with dispersion models, e.g., particle models according to the standard VDI 3945 Part 3.

Influences on the plume propagation by obstacles such as buildings, stacks, or dense vegetation in the vicinity of the considered stack are not taken into account in the described plume rise model. Such influences can be considered approximately with the help of a suitable wind field model. The model is valid for both dry and wet stack gases and for cooling tower exhaust gases. When considering the discharge of exhaust gases via a cooling tower, it is assumed that there is sufficient mixing at the top of the cooling tower so that the rise behaviour of the exhaust gas is described by that of the cooling tower plume.

The rise model and some of the specifications listed here (e.g., the termination criterion) can in principle also be used for situations outside the scope of application considered here (e.g., for non-vertical discharge of the stack gas).