

VEREIN  
DEUTSCHER  
INGENIEURE

Erfassen luftgetragener Mikroorganismen und  
Viren in der Außenluft

Anlagenbezogene Ausbreitungsmodellierung von  
Bioaerosolen

Measurement of airborne microorganisms and  
viruses in ambient air

Plant-related dispersion modelling for bioaerosols

VDI 4251

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
<b>1 Anwendungsbereich</b> .....	4
<b>2 Begriffe</b> .....	5
<b>3 Charakteristika von Bioaerosolen, ihrer Freisetzung und Ausbreitung</b> .....	9
3.1 Physikalische Eigenschaften .....	11
3.2 Größenspektrum von Bioaerosolen .....	11
3.3 Kenngröße .....	13
3.4 Freisetzungsbedingungen .....	15
3.5 Atmosphärischer Transport .....	15
3.6 Immission .....	17
3.7 Umweltmedizinische Bewertung .....	17
<b>4 Verfahren zur Ausbreitungsrechnung von Bioaerosolen</b> .....	18
4.1 Ausbreitungsrechnung .....	19
4.2 Ergebnis der Ausbreitungsrechnung .....	23
4.3 Qualitätssicherung .....	23
<b>Anhang A</b> Absterberaten von Bioaerosolen .....	24
<b>Anhang B</b> Beispiel – Ausbreitungsrechnung .....	26
Schrifttum .....	29
Benennungsindex englisch–deutsch .....	32

Contents	Page
Preliminary note .....	2
Introduction .....	2
<b>1 Scope</b> .....	4
<b>2 Terms and definitions</b> .....	5
<b>3 Characteristics of bioaerosols, their release and dispersion</b> .....	9
3.1 Physical properties .....	11
3.2 Bioaerosol size range .....	11
3.3 Characteristic value .....	13
3.4 Release conditions .....	15
3.5 Atmospheric transport .....	15
3.6 Immission .....	17
3.7 Environmental health assessment .....	17
<b>4 Method for calculating the dispersion of bioaerosols</b> .....	18
4.1 Dispersion calculation .....	19
4.2 Result of the dispersion calculation .....	23
4.3 Quality assurance .....	23
<b>Annex A</b> Bioaerosol die-off rates .....	24
<b>Annex B</b> Sample – Dispersion calculation .....	26
Bibliography .....	29
Term index English–German .....	32

Kommission Reinhaltung der Luft im VDI und DIN – Normenausschuss KRdL

Fachbereich Umweltqualität

VDI/DIN-Handbuch Reinhaltung der Luft, Band 4: Analysen- und Messverfahren I  
VDI-Handbuch Biotechnologie  
VDI/DIN-Handbuch Reinhaltung der Luft, Band 1a: Maximale Immissions-Werte

## 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](http://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 Blätter dieser Richtlinienreihe ist im Internet abrufbar unter [www.vdi.de/4251](http://www.vdi.de/4251).

## Einleitung

Die Ermittlung und Bewertung der Emissionen und Immissionen von Partikeln und gasförmigen Stoffen sind im Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) und seinen Verordnungen sowie in der TA Luft geregelt. Ziel dieser Regelungen ist es, Menschen, Tiere und Pflanzen, den Boden, das Wasser, die Atmosphäre sowie Kultur- und sonstige Sachgüter vor schädlichen Umwelteinwirkungen zu schützen und dem Entstehen schädlicher Umwelteinwirkungen vorzubeugen.

Die gesetzlichen Vorgaben zur Begrenzung mikrobieller Emissionen sind bislang nur allgemein formuliert. So schreibt die TA Luft für bestimmte Anlagen vor: *„die Möglichkeiten, die Emissionen an Keimen und Endotoxinen durch dem Stand der Technik entsprechende Maßnahmen zu vermindern, sind zu prüfen“*.

Ergänzend wurden zahlreiche technische Regeln im Arbeitsschutz (Technische Regeln für Biologische Arbeitsstoffe – TRBA) und Umweltschutz erstellt. Weiterführende Informationen finden sich in der Schriftenreihe der Kommission Reinhaltung der Luft (KRdL) Band 30 [1], Band 35 [2], Band 39 [3], Band 44 [4] und Band 48 [5].

Der Themenbereich „Bioaerosole und biologische Agenzien“ ist aufgrund seiner Komplexität in mehrere Richtlinienreihen unterteilt.

Die Richtlinienreihe VDI 4250 beschreibt die Wirkung mikrobieller Luftverunreinigungen auf den Menschen.

## 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](http://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 can be accessed on the Internet at [www.vdi.de/4251](http://www.vdi.de/4251).

## Introduction

The measurement and assessment of particles and gaseous chemical compounds in emissions and ambient air is regulated by the German Federal Immission Control Act (BImSchG) and the associated implementing ordinances including the Technical Instructions on Air Quality Control (TA Luft). The purpose of these regulations is to protect humans, animals and plants, soil, water, the atmosphere as well as cultural objects and other material goods from harmful effects on the environment and to prevent the occurrence of any such harmful effects on the environment.

The legal requirements for the limitation of microbial emissions have so far not been detailed and are of a general nature only. The TA Luft specifies for certain facilities: *“the possibilities to reduce emissions of germs and endotoxins by state of the art techniques shall be examined”*.

Additionally numerous technical rules have been established in the field of occupational health and safety (Technical Rules for Biological Agents – TRBA) and environmental protection. Further information can be obtained from the publication series by the Commission on Air Pollution Prevention (KRdL) Volume 30 [1], Volume 35 [2], Volume 39 [3], Volume 44 [4] and Volume 48 [5].

The subject area “bioaerosols and biological agents” is divided into several series of standards due to its complexity.

The series of standards VDI 4250 describes the impact of microbial air pollutants on humans.

Die Richtlinienreihe VDI 4251 legt die Bedingungen fest, die bei der Planung von Immissionsmessungen mikrobieller Luftverunreinigungen und bei der Ausbreitungsmodellierung berücksichtigt werden müssen.

In der Richtlinienreihe VDI 4252 werden die verschiedenen Verfahren zur Probenahme von Bioaerosolen beschrieben und die Anforderungen an die Durchführung der Immissionsmessungen festgelegt.

Die Richtlinienreihe VDI 4253 legt die Bedingungen für die Anzucht und Detektion von Mikroorganismen sowie für die Analyse von Viren fest und baut auf der in VDI 4252 und VDI 4257 beschriebenen Probenahme auf.

Die Richtlinienreihe VDI 4254 wird sich mit der Analyse von gasförmigen Luftverunreinigungen mikrobieller Herkunft, wie MVOC (microbial volatile organic compounds), Endotoxinen, Mykotoxinen und Glucanen, beschäftigen.

Die Richtlinienreihe VDI 4255 stellt die unterschiedlichen Quellen mikrobieller Luftverunreinigungen dar, beschreibt Verfahren zur Minderung dieser Emissionen und legt Konventionen für Emissionsfaktoren für ausgewählte Mikroorganismen fest.

In der Richtlinienreihe VDI 4256 werden die statistischen Kenngrößen, die für die Beschreibung und Vergleichbarkeit der Verfahren notwendig sind, festgelegt.

Die Richtlinienreihe VDI 4257 beschreibt die Planung, die Durchführung und die verschiedenen Verfahren der Emissionsmessung von mikrobiellen Luftverunreinigungen.

Die Richtlinienreihe VDI 4258 beschreibt die Herstellung von Prüfbioaerosolen zur Validierung von Messverfahren.

Die Immission von Bioaerosolen kann, etwa in Ergänzung zu Messungen, auch mithilfe von Ausbreitungsrechnungen abgeschätzt werden. Ausbreitungsrechnungen sind vor allem für längere Betrachtungszeiträume und Prognosen ein wichtiges Hilfsmittel. Diese Richtlinie beschreibt ein Standardverfahren zur praktischen Durchführung von Ausbreitungsrechnungen für Bioaerosole, das sich an den im Anhang 3 der TA Luft formulierten Standards orientiert.

Eine Übersicht der aktuellen VDI-Richtlinien zum Themenbereich „Bioaerosole und biologische Agenten“ ist im Internet unter [www.vdi.de/bioaerosole](http://www.vdi.de/bioaerosole) [32] abrufbar.

The series of standards VDI 4251 defines the conditions to be taken into account in ambient air measurement planning and dispersion modelling for microbial air pollutants.

In series of standards VDI 4252, different bioaerosol sampling methods are described and the requirements for the realization of the ambient air measurement are laid down.

The series of standards VDI 4253 lays down the conditions for cultivation and detection of microorganisms as well as for the analysis of viruses and is based on the sampling method described in VDI 4252 and VDI 4257.

The series of standards VDI 4254 will deal with the analysis of gaseous air pollutants, cell wall components and metabolites of microbial origin such as microbial volatile organic compound (MVOC), endotoxins, mycotoxins and glucanes.

The series of standards VDI 4255 presents the different emission sources of microbial air pollutants, describes methods for reduction of such emissions and lays down conventional values for emission factors of selected microorganisms.

The series of standards VDI 4256 defines the statistical characteristics required for the description and comparability of the methods.

The series of standards VDI 4257 describes the planning, the procedure and the different methods for emission measurements of microbial air pollutants.

The series of standards VDI 4258 describes the preparation of test bioaerosols for validation of measurement methods.

The immission of bioaerosols can be estimated with the aid of dispersion calculations, for instance in addition to measurements. Dispersion calculations are an important aid particularly for longer investigation periods and forecasts. This standard describes a standardised process for the practical performance of dispersion calculations for bioaerosols based on the standards presented in Annex 3 of TA Luft.

An overview of the current standards on the subject area “bioaerosols and biological agents” is obtainable on the internet at [www.vdi.de/bioaerosole](http://www.vdi.de/bioaerosole) [32].

## 1 Anwendungsbereich

Die Richtlinie dient der Immissionsberechnung von Bioaerosolen in der Außenluft, die von einer oder mehreren vorgegebenen Emissionsquellen einer Anlage freigesetzt werden. Die Bestimmung erfolgt mithilfe einer numerischen Ausbreitungsrechnung mit einem lagrangeschen Partikelmodell nach Richtlinie VDI 3945 Blatt 3. Gasförmige Geruchsstoffe, die von Bakterien oder Schimmelpilzen gebildet werden, wie MVOC, sind nicht Gegenstand dieser Richtlinie.

Die Richtlinie ist ein standardisiertes, praxisorientiertes Werkzeug zur Ermittlung der Immission von Bioaerosolen (Konzentration und Deposition) für anschließende Bewertungen und Wirkungsanalysen. Die Richtlinie kann im Rahmen von Genehmigungsverfahren, Messplanungen und für andere fachliche Fragestellungen zur Ausbreitung von Bioaerosolen eingesetzt werden.

Bewertungen und Wirkungsanalysen selbst sind nicht Gegenstand der Richtlinie. In Bezug auf die Art der hierfür heranzuziehenden Immissionsgrößen liegen zum Zeitpunkt der Erstellung der Richtlinie keine Regelungen vor (insbesondere hinsichtlich Mittelungszeit und Betrachtungszeitraum). Deshalb wird in allgemeinerer Form angegeben, welche Immissionskenngrößen mit dem beschriebenen Verfahren bestimmt werden können.

In einer Ausbreitungsrechnung zu Bioaerosolen können mehr Details berücksichtigt werden als üblicherweise im Rahmen der Eingangsdaten zur Verfügung stehen. Das gilt insbesondere für die Korngrößenverteilung der Emission und biologische Umsetzungsraten in der Außenluft. Um eine Ausbreitungsrechnung durchführen zu können, müssen daher Näherungen und Konventionen vorgenommen werden. Die in der Richtlinie verwendeten Ansätze hierzu wurden so gewählt, dass sie eher zu einer bewussten Überschätzung als zu einer ungewollten Unterschätzung der Konzentration führen (konservative Abschätzung der Konzentration). Mit zunehmendem Kenntnisstand in den kommenden Jahren wird es möglich sein, die Näherungen und Konventionen weiter zu verfeinern.

Die Richtlinie stützt sich in wesentlichen Teilen auf Vorgaben von Anhang 3 der TA Luft (Ausbreitungsrechnungen für den anlagenbezogenen Immissionsschutz) und auf die Empfehlungen zur Durchführung und Qualitätssicherung von Ausbreitungsrechnungen in Richtlinie VDI 3783 Blatt 13. Als Referenzmodell dient das Referenzmodell der TA Luft [6]. Bei besonderen Ausbreitungssituationen (z.B. Kaltluftabflüsse) können Einzelfallbetrachtungen erforderlich sein, die über den Rahmen der TA Luft und der Richtlinie hinausgehen.

## 1 Scope

This standard is devoted to the calculation of the immission of bioaerosols released by one or more of a plant's specified emission sources. The immission is determined with the aid of a numerical dispersion calculation using a Lagrangian particle model in accordance with standard VDI 3945 Part 3. Gaseous odorants formed by bacteria or moulds, such as MVOC, are not the subject of this standard.

This standard is a standardised, practical tool for determining bioaerosol immission (concentration and deposition) for subsequent assessments and impact analyses. The standard can be employed in connection with licensing procedures, measurement planning and other technical issues relating to the dispersion of bioaerosols.

Assessments and impact analyses themselves are not the subject of this standard. At the time of the drafting of this standard, no provisions (particularly regarding averaging time and investigation period) were available in terms of the type of immission parameters to be referred to. Therefore, this standard states in more general terms the characteristic immission values that can be obtained with the described method.

In a dispersion calculation for bioaerosols, more details can be included than are usually available at the input data stage. This applies particularly to the particle size distribution of the emission and biological transformation rates in the ambient air. To conduct a dispersion calculation, approximations and conventions are therefore necessary. The approaches employed in the standard are such that they tend to yield a deliberate overestimation rather than an undesired underestimation of the concentration (conservative concentration estimate). With growing knowledge in the years to come, it will be possible to refine the approximations and conventions.

Key parts of the standard refer to the provisions of Annex 3 of TA Luft (dispersion calculations for plant-related pollution control) and the recommendations for the performance and quality assurance of dispersion calculations in standard VDI 3783 Part 13. The reference model is that of TA Luft [6]. In special dispersion situations (e.g. cold air flows), case-by-case investigations transcending the scope of TA Luft and the standard may be necessary.

Die Emissionsquellen können als Punkt-, Linien-, Flächen- oder Volumenquellen mit zeitlich konstanten oder zeitlich variablen Emissionsraten und Ablufteigenschaften (Emissionsparameter) vorgegeben werden. Eine Abgasfahnenüberhöhung kann nach Richtlinie VDI 3782 Blatt 3 (Kamine) oder VDI 3784 Blatt 2 (Kühltürme) oder durch explizite Vorgabe einer Überhöhung berücksichtigt werden. Die Grenzschichtmodellierung erfolgt nach Richtlinie VDI 3783 Blatt 8, die Festlegung der Depositionsparameter auf Grundlage der Richtlinie VDI 3782 Blatt 5. Die Bodenbeschaffenheit wird über eine mittlere Rauiglängslänge charakterisiert. Der Einfluss von Geländeprofil und Gebäuden kann durch vereinfachende Annahmen oder explizit mithilfe eines vorgeschalteten Windfeldmodells berücksichtigt werden (VDI 3783 Blatt 13).

Prozesse der Deposition und der Sedimentation werden modelliert. Hierzu werden die freigesetzten Bioaerosole, deren atmosphärischer Transport dem von Staub entspricht, durch ihren aerodynamischen Durchmesser charakterisiert, typischerweise über die Zuweisung einer Korngrößenklasse.

Während des Transports können sich die physikalischen Eigenschaften der Bioaerosole ändern (z.B. durch Agglomeration), ebenso ihre biologischen Eigenschaften (z.B. die Vermehrungsfähigkeit). Auch können bereits am Boden abgelagerte Bioaerosole wieder aufgewirbelt und weitertransportiert werden (Resuspension). Diese Prozesse sind entweder zu komplex oder bislang zu wenig quantifizierbar, um sie in das standardisierte Verfahren explizit aufzunehmen. Wo möglich, wird ihnen durch konservative Annahmen Rechnung getragen. Das Rechengebiet, für das die Immission bestimmt wird, erstreckt sich typischerweise bis in eine Entfernung von einigen 100 Metern bis einigen zehn Kilometern von der Emissionsquelle bei einer räumlichen Auflösung zwischen einigen zehn Metern und einigen 100 Metern.

Die meteorologischen Parameter werden vorzugsweise als Zeitreihe vorgegeben. In bestimmten Anwendungsfällen kann die Ausbreitungsrechnung auch auf Basis einer mehrjährigen Ausbreitungs-klassenstatistik durchgeführt werden.

The emission sources can be defined as point, line, area or volume sources with emission rates and exhaust air properties (emission parameters) constant or variable over time. Plume rise of the exhaust can be accounted for in accordance with standard VDI 3782 Part 3 (stacks) or VDI 3784 Part 2 (cooling towers) or with the explicit specification of a rise. The boundary layer is modelled in accordance with standard VDI 3783 Part 8, and the deposition parameters are defined in accordance with standard VDI 3782 Part 5. The terrain is characterised with a mean roughness length. The effect of topographic profile and buildings can be described with simplifying assumptions or explicitly with the aid of prior wind field modelling (VDI 3783 Part 13).

Deposition and sedimentation processes are modelled. To this end, the released bioaerosols, whose atmospheric transport is that of dust, are characterised by means of their aerodynamic diameter, typically by the assignment of a particle size class.

During transport, the physical properties of the bioaerosols can change (e.g. due to agglomeration), as can their biological properties (e.g. their capacity of replication). Furthermore, bioaerosols already deposited on the ground can be stirred up and transported further (resuspension). These processes are either too complex or so far not sufficiently quantifiable for their explicit inclusion in the standardised method. Account is taken of them, where possible, with conservative assumptions.

The calculation area for which the immission is determined typically extends to a distance ranging from several hundreds of metres to several tens of kilometres from the emission source with a spatial resolution ranging from several tens of metres to several hundreds of metres.

The meteorological parameters are preferably expressed as a time series. In certain applications, the dispersion calculation can be conducted on the basis of dispersion class statistics gathered over several years.