

VEREIN
DEUTSCHER
INGENIEURE

Umweltmeteorologie
 Physikalische Modellierung von Strömungs- und
 Ausbreitungsvorgängen in der atmosphärischen
 Grenzschicht
 Windkanalanwendungen
 Environmental meteorology
 Physical modelling of flow and dispersion
 processes in the atmospheric boundary layer
 Application of wind tunnels

VDI 3783

Blatt 12 / Part 12
Entwurf / DraftAusg. deutsch/englisch
Issue German/English

Die deutsche Version dieser Richtlinie ist verbindlich.

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

Einsprüche bis 2022-09-30

- vorzugsweise über das VDI-Richtlinien-Einspruchsportal <http://www.vdi.de/3783-12>
- in Papierform an
 VDI/DIN-Kommission Reinhaltung der Luft
 Fachbereich Umweltmeteorologie
 Postfach 10 11 39
 40002 Düsseldorf

Inhalt	Seite
Vorbemerkung	3
Einleitung	3
1 Anwendungsbereich	4
2 Formelzeichen und Indizes	5
3 Konzept der Richtlinie	7
4 Modellrandbedingungen/ Windgrenzschicht	10
4.1 Zeitlich gemittelt Geschwindigkeitsprofil	11
4.2 Turbulenz	13
4.3 Referenzwerte für simulierte Windgrenzschichten	15
5 Dokumentation der Modellanströmung	19
6 Ähnlichkeitsbeziehungen/ Modellähnlichkeit	22
6.1 Modellmaßstab	22
6.2 Anströmung	22
6.3 Umströmung	23
6.4 Emissionsquellen	23
7 Anforderungen an den Modellversuch	24
7.1 Erzeugung der Grenzschicht/ Modellanströmung	25
7.2 Windfeld- und Ausbreitungsmodellierung	27
7.3 Versperrung	28
7.4 Emissionsmodellierung	29
7.5 Übertragungsfunktionen	29
8 Referenzuntersuchungen	31
8.1 Grundströmung	31
8.2 Strömungsfelder	32

Contents	Page
Preliminary note	3
Introduction	3
1 Scope	4
2 Symbols and indices	5
3 Concept of the standard	7
4 Basic model conditions/atmospheric boundary layer	10
4.1 Time-averaged velocity profile	11
4.2 Turbulence	13
4.3 Reference values for simulated wind boundary layers	15
5 Documentation of the model approach flow	19
6 Similarity relationships/model similarity	22
6.1 Model scale	22
6.2 Approach flow	22
6.3 Flow around obstacles	23
6.4 Emission sources	23
7 Model test requirements	24
7.1 Generation of the boundary layer/model approach flow	25
7.2 Wind field and dispersion modelling	27
7.3 Blockage	28
7.4 Emission modelling	29
7.5 Transfer functions	29
8 Reference tests	31
8.1 Approach flow	31
8.2 Flow fields	32

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

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

Inhalt	Seite
8.3 Konzentrationsfelder.....	32
8.4 Strömungs- und Konzentrationsfelder in einem Gebäudekomplex.....	36
Anhang A Checkliste Versuchsdokumentation	46
Anhang B Messgeräte und Verfahren.....	48
Anhang C Praxisteil.....	54
C1 Festlegung der Anströmrandbedingungen.....	54
C2 Wahl der Größe des Modellgebiets.....	55
C3 Wahl des Modellmaßstabs	57
C4 Einfluss wechselnder Bodenrauigkeiten im Bereich der Messstrecke.....	57
C5 Emissionsmodellierung und Konzentrationsmessung	58
C6 Hintergrundkonzentration und Superposition von Quellen.....	60
C7 Reproduzierbarkeit von Messungen und Dokumentation des Vertrauensbereichs der Ergebnisse	61
C8 Wahl der Messdauer/Zeitreihenlänge.....	61
C9 Nachweis der Reynoldszahl- Unabhängigkeit der Anströmung	63
C10 Nachweis der Reynoldszahl- Unabhängigkeit der Modellergebnisse.....	64
C11 Nachweis der Unabhängigkeit von der Austritts-Reynoldszahl bei Emissionsquellen	64
C12 Wahl des Referenzwinds/ Transformation von Modellergebnissen	64
Schrifttum	67

Contents	Page
8.3 Concentration fields.....	32
8.4 Flow and concentration fields in a building complex	36
Annex A Checklist test documentation.....	47
Annex B Measuring instruments and methods	48
Annex C Practical guidance	54
C1 Defining desired approach flow conditions.....	54
C2 Defining the model domain size	55
C3 Defining the model scale	57
C4 Influence of changing floor roughness in the area of the test section.....	57
C5 Emission modelling and concentration measurement.....	58
C6 Background concentration and superposition of sources.....	60
C7 Repeatability of measurement results and documentation of the confidence interval of the results	61
C8 Defining the measurement duration/time series length.....	61
C9 Verification of the Reynolds number independence of the approach flow	63
C10 Verification of the Reynolds number independence of the model results	64
C11 Verification of the independence from the exit Reynolds number for emission sources	64
C12 Selection of the reference wind/ transformation of model results	64
Bibliography	67

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.

An der Erarbeitung dieser Richtlinie waren beteiligt:

Dr.-Ing. *Wolfgang Bächlin*, Karlsruhe

Dipl.-Ing. *Bernhard Bauhofer*, München

Dipl.-Ing. *Thomas Eipper*, Dresden

Dr. rer. nat. *Frank Harms*, Hamburg

Dr.-Ing. *Veit Hildebrand*, Dresden

Univ. Prof. Dr.-Ing. *Rüdiger Höffer*, Bochum

Dr.-Ing. *Cornelia Kalender*, Bochum

Univ. Prof. Dr.-Ing. *Bernd Leitl*, Hamburg (Vorsitzender)

Dr.-Ing. *Rolf-Dieter Lieb*, Aachen

Dr.-Ing. *Wolfgang Theurer*, Hanhofen

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/3783.

Einleitung

Modelluntersuchungen in Wind- und Wasserkanälen (physikalische Modelle) sind ein anerkanntes Verfahren bei der Beantwortung von Fragen zur Luftqualität, zum Mikroklima und zur Erzeugung von Validierungsdaten für numerische Strömungs- und Ausbreitungsmodelle. In komplex bebauten oder topografisch gegliederten Gebieten ist der Windkanal als Untersuchungsmethode besonders geeignet. Die Leistungsstärke der physikalischen Modellierung beruht u.a. auf der physikalisch ähnlichen Simulation der maßgebenden Strömungs- und Ausbreitungsvorgänge. Versuchstechnisch sind hierzu die Modellierung der atmosphärischen Strömungsgrenzschicht und ein adäquates Versuchsmodell erforderlich. Die Ähnlichkeit der modellierten Windgrenzschicht und des verwendeten Versuchsmodells wirken sich auf die Qualität der Simulationsergebnisse und damit auf die Übertrag-

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.

Contributions to this standard were made by:

Dr.-Ing. *Wolfgang Bächlin*, Karlsruhe

Dipl.-Ing. *Bernhard Bauhofer*, München

Dipl.-Ing. *Thomas Eipper*, Dresden

Dr. rer. nat. *Frank Harms*, Hamburg

Dr.-Ing. *Veit Hildebrand*, Dresden

Univ. Prof. Dr.-Ing. *Rüdiger Höffer*, Bochum

Dr.-Ing. *Cornelia Kalender*, Bochum

Univ. Prof. Dr.-Ing. *Bernd Leitl*, Hamburg (Chairman)

Dr.-Ing. *Rolf-Dieter Lieb*, Aachen

Dr.-Ing. *Wolfgang Theurer*, Hanhofen

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/3783.

Introduction

Model studies in wind tunnels and water channels (so-called physical models or fluid models) are a recognized method in answering questions on air quality, microclimate and in generating validation data for numerical flow and dispersion models. In complex built-up or topographically structured environments, a boundary layer wind tunnel facility is particularly suitable as a method of investigation. Amongst others, the performance of the physical modelling is based on the physically similar simulation of the relevant flow and dispersion processes. From an experimental point of view, the modelling of the atmospheric boundary layer flow and an adequate test model are required for this. The similarity of the modelled boundary layer winds and the test model used have an effect on the quality of the simulation results and thus the transferability of model results to conditions at full

barkeit von Modellergebnissen auf reale Verhältnisse aus. Mit der vorliegenden Richtlinie sollen Qualitätsstandards für Modellversuche in Windkanälen, insbesondere beim Einsatz in Genehmigungsverfahren nach dem Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) und der Technischen Anleitung zur Reinhaltung der Luft (TA Luft), definiert werden, die die Übertragbarkeit von Simulationsergebnissen, eine grundlegende Bewertung der Güte von Versuchsergebnissen und die Vergleichbarkeit von Modellversuchen, gewährleisten.

Die vorliegende Richtlinie wurde erstmals im Dezember 2000 veröffentlicht. Verfahren und Methoden der physikalischen Modellierung unterliegen einer kontinuierlichen Weiterentwicklung und Verbesserung. Sowohl Fortschritte in der Mess- und Versuchstechnik als auch aktuelle Probleme der Umweltmeteorologie erschließen neue Anwendungsfelder für physikalische Modelle. Deshalb wurden Inhalt und Umfang der Richtlinie überarbeitet, erweitert und dem aktuellen Stand der Technik angepasst.

1 Anwendungsbereich

Die Richtlinie zielt ab auf eine Standardisierung und Qualitätssicherung der Laborversuchstechnik für umweltrelevante Untersuchungen. Sie bezieht sich vornehmlich auf Windkanalversuche, die getroffenen Aussagen sind aber auch sinngemäß auf Wasserkanäle übertragbar. Die Richtlinie liefert den Anwendern solcher Versuchseinrichtungen Vorgaben bezüglich der Durchführung und Dokumentation der Experimente und benennt für Evaluierungszwecke geeignete Referenzversuche und Vergleichsdatensätze. Für Nutzer und Auftraggeber liefert sie Erläuterungen zu der Versuchstechnik und zu den Ergebnissen. Die für die Modellierung relevanten strömungsmechanischen Grundlagen und Parameter der atmosphärischen Grenzschicht werden allgemein beschrieben. Die Anwendungsmöglichkeiten und Grenzen physikalischer Modellstudien werden aufgezeigt.

Gegenstand der vorliegenden Richtlinie ist die physikalische Modellierung von

- Strömungsfeldern und
- Konzentrationsverteilungen

innerhalb des bodennahen Windfelds im Skalenbereich von Metern bis zu einigen Kilometern (Mikroskala). Die Vorgaben der Richtlinie sind grundsätzlich auch auf Windkanalanwendungen in der Gebäudeaerodynamik (z.B. Bestimmung von Winddrücken und Windkräften oder natürliche Ventilation von Baukörpern) übertragbar. Für diesen Anwendungsbereich wird zusätzlich auf ein

scale. This standard intends to define quality standards for model tests in wind tunnels, especially when used in licensing procedures according to the Federal Immission Control Act (BImSchG) and the Technical Instructions on Air Quality Control (TA Luft), which ensure the transferability of simulation results, a basic evaluation of the quality of test results, and the reproducibility of model tests.

This standard was published first in December 2000. Physical modelling procedures and methods are subject to continuous development and improvement. Both, advances in measurement technology and experimental procedures as well as current problems in environmental meteorology open up new fields of application for fluid modelling. Therefore, the content and scope of the standard have been revised, extended, and adapted to the current state of the art.

1 Scope

The standard aims at standardisation and quality assurance of laboratory testing techniques for environmentally relevant investigations. It primarily refers to tests in qualified wind tunnels, but the statements made can be applied similarly to water channels. The standard provides the users of such test facilities with guidelines for the implementation/realization and documentation of the experiments and specifies suitable reference test cases and reference data sets for evaluation purposes. For users and clients, it provides explanations on the experimental technique and the results. The basic principles of fluid mechanics and parameters of the atmospheric boundary layer relevant for modelling are described in general terms. The range of application and limitations of physical model studies are specified.

The subject of this standard is the physical modelling of

- flow fields and
 - concentration distributions/dispersion patterns
- within the near-ground wind field in the scale range from metres to several kilometres (microscale). In principle, the specifications of the standard are also transferable to wind tunnel applications in building aerodynamics (e.g., determination of wind pressures and wind forces or natural ventilation of building structures). For this area of application, reference is also made to a leaflet pub-

Merkblatt der Windtechnologischen Gesellschaft e.V. [1] verwiesen.

Die physikalische Modellierung wird vor allem in Fällen eingesetzt, in denen mechanisch induzierte Turbulenz die Windströmung und windgetriebene Transportprozesse dominiert. In Abhängigkeit von der Struktur der überströmten Oberfläche und dem meteorologischen Zustand der Atmosphäre ist dies im bodennahen Windfeld in Höhenbereichen von einigen Metern bis über 100 m Höhe der Fall. Die mechanisch induzierte Turbulenz führt in diesem Fall zu einem intensiven räumlichen Austausch von Impuls und Energie. Mechanisch induzierte Windturbulenz bestimmt in besonderem Maße

- die Beeinflussung des bodennahen Windfelds durch Baumaßnahmen in bestehenden Bebauungsstrukturen und
- die bodennahe Ausbreitung von Luftverunreinigungen in Stadt- und Industriebereichen sowie in orografisch gegliedertem Gelände.

Grenzschichtwindkanäle im Sinne dieser Richtlinie sind speziell adaptierte Windkanäle/Versuchsanlagen, die gut durchmischte, näherungsweise neutrale thermische Schichtungszustände der bodennahen Atmosphäre abbilden können. Die physikalische Modellierung nicht neutraler thermischer Schichtungszustände ist möglich, wird aber in der Richtlinie nicht betrachtet. Die Richtlinie beschränkt sich auf die Modellierung gut durchmischter, näherungsweise neutral geschichteter Windgrenzschichten.

Adäquate physikalische Modellversuche bilden dreidimensionale Strömungs-, Konzentrations- und Druckfelder in Raum und Zeit variabel ab. Entsprechend können neben mittleren Ergebnisgrößen insbesondere auch Informationen zu Extremwerten und zur Verteilung der Messgrößen in Raum und Zeit abgeleitet werden. In Tabelle 1 (in Abschnitt 3) werden typische umweltmeteorologische Anwendungsbereiche physikalischer Modellierung klassifiziert.

lished by the Windtechnologische Gesellschaft e.V. [1].

Physical modelling is mainly used in cases where mechanically induced turbulence dominates the wind flow and wind-driven transport processes. Depending on the structure of the surface exposed to the flow and the meteorological state of the atmosphere, this is the case in the near-ground wind field at height ranges from a few metres up to more than 100 m height. In this case, the mechanically induced turbulence leads to an intensive spatial exchange of momentum and energy. Mechanically induced wind turbulence is dominating in particular

- the impact/effect of buildings and structures on the wind field near the ground in existing built-up areas, and
- the near-ground dispersion of air pollutants in urban and industrial areas as well as in orographically structured terrain.

Boundary layer wind tunnels in the sense of this standard are specifically designed/adapted wind tunnels/test facilities that can reproduce well-mixed, approximately neutral thermal stratification conditions of the atmosphere near the ground. The physical modelling of non-neutral thermal stratification conditions is possible but is not considered in this standard. The standard is limited to the modelling of well-mixed, approximately neutrally stratified wind boundary layers.

Adequate physical model experiments reproduce three-dimensional flow, concentration and pressure fields, variable in space and time. Accordingly, information on extreme values and on the distribution of the measured variables in space and time can be derived in addition to mean results. Table 1 (Section 3) classifies typical environmental meteorological application areas of physical modelling.