

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

Ausg. deutsch/englisch
Issue German/English

*Der Entwurf dieser Richtlinie wurde mit Ankündigung im Bundesan-
zeiger 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 authori-
tative. No guarantee can be given with respect to the English
translation.*

Inhalt	Seite	Contents	Page
Vorbemerkung	3	Preliminary note.....	3
Einleitung.....	3	Introduction.....	3
1 Anwendungsbereich.....	4	1 Scope.....	4
2 Formelzeichen und Indizes	5	2 Symbols and indices	5
3 Konzept der Richtlinie	7	3 Concept of the standard	7
4 Modellrandbedingungen/ Windgrenzschicht.....	10	4 Basic model conditions/atmospheric boundary layer.....	10
4.1 Zeitlich gemittelt Geschwindigkeitsprofil	11	4.1 Time-averaged velocity profile.....	11
4.2 Turbulenz	13	4.2 Turbulence	13
4.3 Referenzwerte für simulierte Windgrenzschichten.....	15	4.3 Reference values for simulated boundary layer winds.....	15
5 Dokumentation der Modellanströmung	19	5 Documentation of the model approach flow	19
6 Ähnlichkeitsbeziehungen/ Modellähnlichkeit.....	22	6 Similarity relationships/model similarity	22
6.1 Modellmaßstab.....	22	6.1 Model scale.....	22
6.2 Anströmung	22	6.2 Approach flow	22
6.3 Umströmung	23	6.3 Flow around obstacles	23
6.4 Emissionsquellen	23	6.4 Emission sources	23
7 Anforderungen an den Modellversuch	24	7 Model test requirements	24
7.1 Erzeugung der Grenzschicht/ Modellanströmung	25	7.1 Generation of the boundary layer/ model approach flow	25
7.2 Windfeld- und Ausbreitungsmodellierung	27	7.2 Wind field and dispersion modelling.....	27
7.3 Versperrung	28	7.3 Blockage	28
7.4 Emissionsmodellierung.....	29	7.4 Emission modelling	29
7.5 Übertragungsfunktionen.....	29	7.5 Transfer functions.....	29

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

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

Inhalt	Seite
8 Referenzuntersuchungen	31
8.1 Grundströmung	31
8.2 Strömungsfelder.....	32
8.3 Konzentrationsfelder.....	32
8.4 Strömungs- und Konzentrationsfelder in einem Gebäudekomplex.....	36
Anhang A Checkliste Versuchsdokumentation	45
Anhang B Messgeräte und Verfahren.....	47
Anhang C Praxisteil.....	53
C1 Festlegung der Anströmrandbedingungen.....	53
C2 Wahl der Größe des Modellgebiets.....	54
C3 Wahl des Modellmaßstabs	56
C4 Einfluss wechselnder Bodenrauigkeiten im Bereich der Messstrecke.....	56
C5 Emissionsmodellierung und Konzentrationsmessung	57
C6 Hintergrundkonzentration und Superposition von Quellen.....	59
C7 Reproduzierbarkeit von Messungen und Dokumentation des Vertrauensbereichs der Ergebnisse	60
C8 Wahl der Messdauer/Zeitreihenlänge	60
C9 Nachweis der Reynoldszahl- Unabhängigkeit der Anströmung	62
C10 Nachweis der Reynoldszahl- Unabhängigkeit der Modellergebnisse.....	63
C11 Nachweis der Unabhängigkeit von der Austritts-Reynoldszahl bei Emissionsquellen	63
C12 Wahl des Referenzwinds/ Transformation von Modellergebnissen	63
Schrifttum	66

Contents	Page
8 Reference tests	31
8.1 Approach flow	31
8.2 Flow fields	32
8.3 Concentration fields.....	32
8.4 Flow and concentration fields in a building complex	36
Annex A Checklist test documentation.....	46
Annex B Measuring instruments and methods	47
Annex C Practical guidance	53
C1 Defining desired approach flow conditions.....	53
C2 Defining the model domain size	54
C3 Defining the model scale	56
C4 Influence of changing floor roughness in the area of the test section.....	56
C5 Emission modelling and concentration measurement.....	57
C6 Background concentration and superposition of sources.....	59
C7 Reproducibility of measurement results and documentation of the confidence interval of the results	60
C8 Defining the measurement duration/time series length.....	60
C9 Verification of the Reynolds number independence of the approach flow	62
C10 Verification of the Reynolds number independence of the model results.....	63
C11 Verification of the independence from the exit Reynolds number for emission sources	63
C12 Selection of the reference wind/ transformation of model results	63
Bibliography	66

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/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 sowie orografisch 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 Übertragbarkeit von Modellergebnissen auf reale Verhältnisse aus. Mit dieser 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.

Diese 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 Ver-

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/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 orographically 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 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

suchstechnik 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 auf eine Standardisierung und Qualitätssicherung der Laborversuchstechnik für umweltrelevante Untersuchungen ab. 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 zur Interpretation von 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 dieser 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 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

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 on the interpretation of 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 published 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

- 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.

Die Richtlinie beschreibt eine von Klimaänderungen unabhängige Methodik.

- 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.

This standard describes a methodology that is independent of climate change.