

VEREIN
DEUTSCHER
INGENIEUREUmweltmeteorologie
Prognostische mikroskalige Windfeldmodelle
Evaluierung für Gebäude- und Hindernisumströmung
Environmental meteorology
Prognostic microscale wind field models
Evaluation for flow around buildings and obstaclesVDI 3783
Blatt 9 / Part 9Ausg. deutsch/englisch
Issue German/English

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

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

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.

Inhalt	Seite
Vorbemerkung	3
Einleitung	3
1 Anwendungsbereich	3
2 Begriffe	5
3 Formelzeichen	6
4 Prüfungen des Modells durch den Modellentwickler	8
4.1 Allgemeine Bewertung	8
4.2 Wissenschaftliche Bewertung	10
4.3 Validierung	11
4.4 Abschließende Bewertung	17
5 Anwendungsregeln für den Modellanwender	17
5.1 Vorgaben zur Modellgebietsgröße und Gitterweite	17
5.2 Qualitätskontrolle der Modellergebnisse	18
5.3 Bewertung der Modellergebnisse	19
5.4 Skalierung der Modellergebnisse	19
5.5 Dokumentation einer Modellrechnung	19
Anhang A Einführung in den Aufbau richtlinienkonformer Modelle	20
A1 Allgemeines Gleichungssystem	20
A2 Modellvereinfachungen	22
A3 Parametrisierung subskaliger physikalischer Prozesse	24
A4 Koordinaten und Raumbgitter	27
A5 Numerische Lösungsmethode	28
A6 Rand- und Anfangsbedingungen	28
A7 Eingabedaten (Eingangsparameter)	30
A8 Ausgabedaten	31

Contents	Page
Preliminary note	3
Introduction	3
1 Scope	3
2 Terms and definitions	5
3 Symbols	6
4 Assessment of the model by the developer	8
4.1 General evaluation	8
4.2 Scientific evaluation	10
4.3 Validation	11
4.4 Final evaluation	17
5 Application rules for the model user	17
5.1 Specifications relating to the model domain's size and grid spacing	17
5.2 Quality control of the model results	18
5.3 Evaluation of the model results	19
5.4 Scaling the model results	19
5.5 Documenting simulations	19
Annex A Introduction to the construction of standard-compliant models	20
A1 General system of equations	20
A2 Simplifications of the model	22
A3 Parameterisation of subgrid scale physical processes	24
A4 Coordinates and spatial grid	27
A5 Numerical solution method	28
A6 Boundary and initial conditions	28
A7 Input data (input parameters)	30
A8 Output data	31

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

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

Inhalt	Seite
Anhang B Anwendungsbereich prognostischer mikroskaliger Windfeldmodelle	32
B1 Typische Anwendung	32
B2 Anwendungsbeispiele	33
Anhang C Modellbeschreibung	36
C1 Kurzbeschreibung des Modells	36
C2 Ausführliche Modellbeschreibung	36
Anhang D Erläuterungen zu den Referenzdaten aus Windkanalmessungen	38
Anhang E Testfälle zur Validierung	40
E1 Spezifikation der Testfälle	40
E2 Bewertung der Modellergebnisse	40
E3 Vorgaben zu den einzelnen Testfällen	42
Anhang F Evaluierungsprotokoll	62
Schrifttum	68

Contents	Page
Annex B Scope of prognostic microscale wind field models	32
B1 Typical applications	32
B2 Application examples	33
Annex C Model description	36
C1 Brief description of the model	36
C2 Detailed model description	36
Annex D Comments on the comparison data from wind tunnel measurements	38
Annex E Test cases for validation	40
E1 Specification of the test cases	40
E2 Evaluation of the model results	40
E3 Specifications for the individual test cases	42
Annex F Evaluation protocol	63
Bibliography	68

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 Blätter dieser Richtlinienreihe ist im Internet abrufbar unter www.vdi.de/3783.

Einleitung

Für die Untersuchung von Schadstoffausbreitungsvorgängen im Einfluszbereich komplexer Hinderniskonfigurationen werden häufig hindernisauflösende prognostische mikroskalige Windfeldmodelle verwendet. Beim Einsatz dieser Modelle insbesondere im Rahmen von Genehmigungsverfahren sollten einheitliche Vorgaben befolgt werden (BImSchG, TA Luft).

Diese Richtlinie ermöglicht es, die Eigenschaften solcher Modelle zu überprüfen, und wurde bereits erfolgreich zur Evaluierung mehrerer mikroskaliger Windfeldmodelle angewandt. Die vorliegende aktualisierte Fassung der Richtlinie wurde angesichts der Weiterentwicklung der numerischen Modelle fortgeschrieben und enthält neue Vergleichsdatensätze und Kriterien.

1 Anwendungsbereich

Diese Richtlinie dient der Evaluierung prognostischer mikroskaliger Windfeldmodelle, die die in der bodennahen atmosphärischen Grenzschicht vorkommenden Hindernisse unter Einbezug von Orografie explizit auflösen. Diese Modelle berechnen den Wind, die Temperatur, die Feuchte und die Turbulenz in der Umgebung von Gebäuden bei unterschiedlicher thermischer Schichtung auf Basis *prognostischer* Gleichungen unter Einbeziehung der Energie-, Masse- und Impulserhaltung. Typische Gebietsgrößen haben Seitenlängen zwischen einigen Hundert Metern und einigen Kilometern. Komplexe Gebäudewechselwirkungen, Temperatureffekte, die Abschattung durch einzelne Gebäude und Wechselwirkungen mit der Orografie und Oberflächenrauigkeiten werden berücksichtigt. Der

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 can be accessed on the Internet at www.vdi.de/3783.

Introduction

Obstacle-resolving prognostic microscale wind field models are often used to investigate pollutant dispersion processes within the range of influence of complex obstacle configurations. When using these models, especially as part of licensing procedures, consistent specifications should be followed (BImSchG (German Federal Immission Safety Act) and TA Luft).

This standard allows the properties of such models to be reviewed, and has already been applied successfully to evaluate several microscale wind field models. This version of the standard was updated in the light of further developments in the field of numerical models, and contains new comparison datasets and criteria.

1 Scope

This standard serves to evaluate prognostic microscale wind field models that resolve explicitly the obstacles occurring in the near-ground atmospheric boundary layer, considering the orography. These models simulate the wind, temperature, humidity and turbulence in the vicinity of buildings under different thermal stratifications, based on *prognostic* equations and including the conservation of energy, mass and momentum. The typical domains range in size between a few hundred metres and a few kilometres. Complex building interactions, temperature effects, shadowing by individual buildings and interactions with the orography and surface roughness are taken into account. As a result, the scope of these prognostic microscale wind field models is very diverse and not limited to

Anwendungsbereich dieser prognostischen mikroskaligen Windfeldmodelle ist dadurch sehr vielfältig und nicht auf einfache Hindernisstrukturen und neutrale Schichtungen beschränkt, wie dies bei ausschließlicher Nutzung der Erhaltungsgleichung der Masse und Nutzung empirischer Einflussfaktoren der Fall ist. Bei komplexer Bebauungsstruktur müssen diese Modelle verwendet werden, insbesondere wenn die Bebauung das Windfeld deutlich beeinflusst, oder wenn Geländeneigungen (Steigungen $> 1:20$) vorhanden sind. Auch in Fällen, in denen zeitabhängige Änderungen des Windfelds zu berücksichtigen oder thermische Schichtungen bedeutsam sind, müssen prognostische mikroskalige Windfeldmodelle genutzt werden. Ausgewählte Anwendungsbeispiele sind in Anhang B aufgeführt.

Der gegenwärtige Kenntnisstand lässt nicht zu, ein bestimmtes prognostisches mikroskaliges Windfeldmodell gegenüber einem anderen zu bevorzugen. Die in dieser Richtlinie gegebene Evaluierungsvorschrift dient dazu, die Qualität der derzeit und in Zukunft verfügbaren Modelle auf hohem Niveau zu sichern und das hierfür zu verwendende Verfahren auf breiter Basis zu standardisieren. Sie gibt dem Entwickler einen Leitfaden zur Qualitätssicherung und dem Anwender Kriterien für die Auswahl eines geeigneten Modells in die Hand (Abschnitt 4 bis Abschnitt 4.4). Dem Anwender werden zudem Kriterien geliefert, anhand derer die Ergebnisse mikroskaliger Modelle kontrolliert werden können (Abschnitt 5). Die Richtlinie dient nicht dazu, einzelne Teile eines Modells (z.B. numerische Verfahren, Parametrisierungen) separat zu prüfen. Alle Testfälle sind immer auf das Gesamtmodell bezogen. Die einzelnen Kriterien dieser Richtlinie sind in Anlehnung an die Arbeiten von [1 bis 3] und die Ergebnisse von [4] entwickelt worden.

Die Evaluierungsrichtlinie ist in zwei Bereiche aufgeteilt:

- a) Prüfungen, die vom Modellentwickler durchzuführen sind:
 - allgemeine Bewertung (Abschnitt 4)
Sie enthält Anforderungen hinsichtlich der Dokumentation, der Nachvollziehbarkeit und Realisierung des Modells.
 - wissenschaftliche Bewertung (Abschnitt 4.2)
Sie enthält Anforderungen hinsichtlich des Umfangs des physikalischen Gleichungssystems, der Art der Parametrisierung und der Rand- und Anfangsbedingungen des Modells.

simple obstacle structures and neutral stratifications, as is the case when using only conservation of mass and empirical influencing factors. These models shall be used where complex building configurations are involved, especially if they affect the wind field significantly, or where terrain slopes (exceeding $1:20$) are present. Prognostic microscale wind field models shall also be used in cases where time-dependent variations in the wind field need to be taken into account, or there are significant thermal stratifications. A selection of application examples can be found in Annex B.

Current knowledge does not permit one particular prognostic microscale wind field model to be preferred to another. The evaluation rule described in this standard serves to ensure a high quality of the models available currently and in the future, and to standardise the methods used in this respect on a broad basis. It provides the developer with a guideline for quality assurance, and the user with criteria for selecting a suitable model (Section 4 to Section 4.4). The user is also provided with criteria on the basis of which the results of microscale models can be reviewed (Section 5). This standard is not designed for testing separately individual parts of a model (e.g. numerical methods, parameterisations). All the test cases always refer to the model as a whole. The individual criteria in this standard were developed based on the studies published by [1 to 3] and the results of [4].

The evaluation standard is divided into two parts:

- a) tests to be performed by the model developer
 - general evaluation (Section 4)
It contains requirements relating to the model documentation, comprehensibility and realisation.
 - scientific evaluation (Section 4.2)
It contains requirements relating to the scope of the physical system of equations, the type of parameterisation, and the boundary and initial conditions of the model.

- Validierung (Abschnitt 4.3)
Hierfür dienen eine Reihe von Testfällen, zugehörige Fehlermaße und Hinweise zur Bewertung der Modellergebnisse. Anforderungen an das Gitter (Abschnitt 4.3.2) werden aufgeführt.
- Die Ergebnisse sind in einer abschließenden Bewertung (Abschnitt 4.4) zusammenzufassen.

b) Vorgaben, die vom Modellentwickler und Modellanwender zu beachten sind (Abschnitt 5)

- Vorgaben zum Rechengitter
- Vorgaben zur Ergebniskontrolle
- Vorgaben zur Dokumentation der durchgeführten Modellrechnungen

Die nach dieser Richtlinie evaluierten numerischen Simulationsmodelle gestatten es, vielfältige Phänomene in hinreichender Näherung abzubilden, atmosphärische Prozesse approximativ zu verfolgen und die betrachteten Situationen realitätsnah zu interpretieren. Die Güte der Modellergebnisse hängt dabei wesentlich von der Güte der Eingangsdaten ab. Auch bei einem evaluierten Modell muss äußerste Sorgfalt auf die Auswahl und Aufbereitung dieser Daten verwandt werden. Der Anwender muss über hinreichenden Sachverstand und umfangreiche Erfahrungen im Umgang mit prognostischen mikroskaligen Windfeldmodellen und der meteorologischen Bewertung ihrer Ergebnisse verfügen.

- validation (Section 4.3)

This is carried out with a series of test cases, associated error measures and specifications for evaluating the model results. Requirements relating to the grid are listed (Section 4.3.2).

- The results are to be summarised in a final evaluation (Section 4.4).

b) specifications to be followed by the model developer and user (Section 5)

- specifications for the simulation grid
- specifications for reviewing the results
- specifications for documenting the performed simulations

The numerical simulation models evaluated in accordance with this standard allow diverse phenomena to be simulated sufficiently accurately, atmospheric processes to be followed approximately and the observed situations to be interpreted realistically. In doing so, the quality of the model results depends significantly on that of the input data. Even with an evaluated model, the greatest care is required when selecting and preparing these data. The user has to have sufficient expertise and extensive experience in the use of prognostic microscale wind field models and the meteorological evaluation of their results.