

VEREIN
DEUTSCHER
INGENIEURE

Umweltmeteorologie
Prognostische mesoskalige Windfeldmodelle
Evaluierung für dynamisch und
thermisch bedingte Strömungsfelder
Environmental meteorology
Prognostic mesoscale wind field models
Evaluation for dynamically and
thermally induced flow fields

VDI 3783
Blatt 7 / Part 7

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	3
Einleitung	3
1 Anwendungsbereich	4
2 Normative Verweise	7
3 Begriffe	7
4 Formelzeichen	10
5 Prüfungen des Modells durch den Modellentwickler	12
5.1 Allgemeine Bewertung	12
5.2 Wissenschaftliche Bewertung	14
5.3 Validierung	15
5.4 Abschließende Bewertung	19
6 Anwendungsregeln für den Modellanwender	20
6.1 Vorgaben zu Modellgebietsgröße und Gitterweite	20
6.2 Vorgaben zur Initialisierung	24
6.3 Qualitätskontrolle der Modellergebnisse	25
6.4 Dokumentation einer Modellrechnung	25
6.5 Anwendung auf Modellrechnungen	25
Anhang A Einführung in den Aufbau richtlinienkonformer Modelle	26
A1 Gemittelttes, grundlegendes Gleichungssystem	26
A2 Mögliche Modellvereinfachungen	27
A3 Gelöste Gleichungen	29
A4 Parametrisierung subskaliger physikalischer Prozesse	29
A5 Koordinaten	33
A6 Numerische Lösungsmethoden	34
A7 Rand- und Anfangsbedingungen	34
A8 Eingabedaten (Eingangsparameter)	36
A9 Ausgabedaten	37

Contents	Page
Preliminary note	3
Introduction	3
1 Scope	4
2 Normative references	7
3 Terms and definitions	7
4 Symbols	10
5 Assessment of the model by its developer	12
5.1 General evaluation	12
5.2 Scientific evaluation	14
5.3 Validation	15
5.4 Final evaluation	19
6 Application rules for the model user	20
6.1 Specification of model domain's size and grid size	20
6.2 Specifications for initialisation	24
6.3 Quality control of the model results	25
6.4 Documenting simulations	25
6.5 Application to simulations	25
Annex A Introduction to the construction of standard-compliant models	26
A1 Averaged fundamental system of equations	26
A2 Possible simplifications of the model	27
A3 Solved equations	29
A4 Parameterisation of subgrid-scale physical processes	29
A5 Coordinate systems	33
A6 Numerical solution methods	34
A7 Boundary and initial conditions	34
A8 Input data (input parameters)	36
A9 Output data	37

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 mesoskaliger Windfeldmodelle	38
B1 Typische Anwendungen.....	38
B2 Anwendungsbeispiele	39
Anhang C Kurzbeschreibung des Modells	42
Anhang D Ausführliche Modellbeschreibung	43
Anhang E Spezifikation der Testfälle.....	44
E1 Testfall E1: Quasi-2-D glockenförmiger Rücken – Zweidimensionalität, Berücksichtigung von Orographie	44
E2 Testfall E2: Quasi-2-D glockenförmiger Rücken – Windgeschwindigkeitseinfluss.....	48
E3 Testfall E3: Gaußförmiger Berg – Einfluss der Gitterweite	49
E4 Testfall E4: Gaußförmiger Berg – Abschattungseffekt und Kaltluftabflüsse	52
E5 Testfall E5: Gaußförmiger Berg – Einfluss der Anströmrichtung, numerische Genauigkeit.....	54
E6 Testfall E6: Sophienhöhe – Umströmung und Überströmung eines steilen Hügels... ..	55
E7 Testfall E7: Grazer Becken – Gegenströmung	61
E8 Testfall E8: Stuttgarter Talkessel – Strömungskanalisation, Kaltluftabflüsse ..	69
Anhang F Evaluierungsprotokoll	76
F1 Protokoll mit notwendigen Eigenschaften	76
F2 Evaluierungsprotokoll für den Modellanwender	78
Schrifttum	82

Contents	Page
Annex B Applications of prognostic mesoscale wind field models.....	38
B1 Typical applications.....	38
B2 Application examples	39
Annex C Brief description of the model.....	42
Annex D Detailed model description	43
Annex E Specification of test cases	44
E1 Test case E1: Quasi-two-dimensional bell-shaped ridge – two-dimensionality, consideration of orography	44
E2 Test case E2: Quasi-two-dimensional bell-shaped ridge – effect of wind speed	48
E3 Test case E3: Gaussian mountain – effect of grid size	49
E4 Test case E4: Gaussian mountain – shadowing effect and cold air drainage flow	52
E5 Test case E5: Gaussian mountain – effect of inflow direction, numerical accuracy	54
E6 Test case E6: Sophienhöhe – flow around and over a steep hill	55
E7 Test case E7: Graz basin – recirculation	61
E8 Test case E8: Stuttgart basin – flow channelling, cold air drainage flow.....	69
Annex F Evaluation protocol	79
F1 Protocol with the required properties	79
F2 Evaluation protocol for the model user.....	81
Bibliography	82

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

Von Anlagen, Einrichtungen oder Verkehrswegen können Emissionen ausgehen, die die Umgebung in Form von Schadstoffen oder Geruchsstoffen beeinträchtigen. Für die Prognose daraus resultierender Belastungen wurden verschiedene Vorschriften und Richtlinien erarbeitet, so für den anlagenbezogenen Immissionschutz die TA Luft.

Die mathematischen Verfahren für eine Immissionsprognose setzen Windfeldbibliotheken für das Beurteilungsgebiet voraus. In ebenem Gelände sind hierfür einfache meteorologische Profilansätze für den Wind und die Turbulenz hinreichend. In stärker gegliedertem Gelände mit maximalen Steigungen von 1:5 können die Windfeldbibliotheken mithilfe eines massenkonsistenten Windfeldmodells erzeugt werden. Treten in einem Beurteilungsgebiet verbreitete Steigungen von mehr als 1:5 auf oder haben Steigungen größer als 1:5 maßgeblichen Einfluss auf die Immissionsprognose an Beurteilungspunkten, bietet die TA Luft kein vorgegebenes Verfahren zur Erstellung einer Windfeldbibliothek an. Seit einiger Zeit erlauben die gewachsenen Rechnerkapazitäten den Einsatz prognostischer mesoskaliger Windfeldmodelle, um in solchen Fällen geeignete Windfeldbibliotheken zu generieren (siehe VDI 3783 Blatt 16). Um sicherzustellen, dass diese Windfelder mit qualitativ hochwertigen Modellen erzeugt werden, werden in dieser Richtlinie Mindestanforderungen an ein Modell aufgestellt und eine Vorgehensweise beschrieben, mit denen eine Prüfung der Modelle möglich ist.

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

Industrial plants, installations and traffic can generate emissions that have a deleterious effect on the environment in the form of pollutants or odours. Various regulations and standards have been developed in order to forecast the resultant impact, for example TA Luft for plant-related immission safety.

Mathematical methods for immission forecasts assume the existence of wind field libraries for the assessed region. In flat terrain, simple meteorological profile approaches for the wind and the turbulence are sufficient. In complex terrain with maximum gradients of 1:5, the wind field libraries can be generated with the help of a mass-consistent wind field model. In regions with steep terrain (gradients exceeding 1:5), where the orography has a strong impact on the immission forecast at assessment points, TA Luft does not specify a method for generating a wind field library. For some time now, the increase in computer power has allowed the use of prognostic mesoscale wind field models to generate wind field libraries in such cases (see VDI 3783 Part 16). In order to ensure that these wind fields are produced with high-quality models, this standard specifies minimum requirements for models and describes a procedure with which models can be tested.

1 Anwendungsbereich

Diese Richtlinie dient der Evaluierung von prognostischen mesoskaligen Windfeldmodellen für Strömungsberechnungen u.a. in steilem Gelände (Grundlagen siehe Anhang A). Prognostische mesoskalige Modelle berücksichtigen den Einfluss von Orografie und Landnutzung bei unterschiedlicher thermischer Schichtung auf den Wind, die Temperatur, die Feuchte und die Turbulenz. Gelöst werden *prognostische* Gleichungen unter Einbeziehung der Energie-, Masse- und Impulserhaltung. Geprüft werden gemäß dieser Richtlinie ausschließlich die mittleren (Mittelungszeit etwa 10 min bis 30 min) Windfelder bis in etwa 200 m Höhe. Die Evaluierung erfolgt für die bodennahen Windfelder, wobei in einigen Testfällen quantitative und qualitative Prüfungen auch in größerer Höhe sowie für Temperatur und Feuchte erfolgen, um zu prüfen, ob die bodennahen Windfelder aus physikalisch richtigen Gründen so errechnet wurden. Weitere Größen werden ausgerechnet, sind hier aber nicht explizit geprüft; ihre Richtigkeit wird aufgrund der geprüften Windfelder indirekt geprüft.

Prognostische mesoskalige Windfeldmodelle sind aufgrund des physikalisch-mathematischen Gleichungssystems sehr komplex. Die verschiedenen Modelle unterscheiden sich in einer Vielzahl an Details, vor allem in den verwendeten numerischen Methoden. Der gegenwärtige Kenntnisstand lässt nicht zu, ein bestimmtes prognostisches mesoskaliges Windfeldmodell gegenüber einem anderen zu bevorzugen. Mindestanforderungen an Modelle können aber formuliert werden. Die in dieser Richtlinie gegebene Evaluierungsvorschrift dient dazu, die Qualität der mesoskaligen 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 (Abschnitt 5). Dem Modellanwender werden selbst durchzuführende Testfälle genannt und weitere Kriterien geliefert, anhand derer Modellrechnungen aufgesetzt und deren Ergebnisse kontrolliert werden können (Abschnitt 6), sowie Kriterien für die Auswahl eines geeigneten Modells an die Hand gegeben.

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 und mit diesem durchzuführen. Die einzelnen Kriterien dieser Richtlinie sind in Analogie zur Richtlinie VDI 3783 Blatt 9 und in Anlehnung an die Arbeiten [1 bis 3] entwickelt worden.

1 Scope

This standard serves to evaluate prognostic mesoscale wind field models for flow simulations, inter alia in steep terrain (for fundamental principles, see Annex A). Prognostic mesoscale models take into account the effect of orography and land use, under various thermal stratifications, on the wind, the temperature, the humidity and the turbulence. The models solves *prognostic* equations based on the conservation of energy, mass and momentum. Only the mean wind fields (averaging period ca. 10 min to 30 min) up to a height of ca. 200 m are investigated in accordance with this standard. The evaluation is done for the near ground wind fields; in a few test cases, quantitative and qualitative investigations are also carried out at greater heights and for temperature and humidity, in order to examine whether the near-ground wind fields are physically consistent and fit to the upper air dynamics. Further variables are computed, but are not evaluated here explicitly; their correctness is examined indirectly, based on the evaluated wind fields.

Prognostic mesoscale wind field models are very complex due to the physical-mathematical system of equations. The various models differ from each other in many details, first and foremost in numerical methods used. The current state of knowledge does not permit one particular prognostic mesoscale wind field model to be preferred over another. Minimum requirements for models can, however, be formulated. The evaluation rule given in this standard serves to ensure high quality of mesoscale models and to standardise the methods used for evaluation on a broad basis. It provides the developer with a guideline for quality assurance (Section 5). The model users are offered test cases they can carry out themselves, further criteria with which simulations can be set up and their results reviewed (Section 6), and criteria for selecting a suitable model.

This standard does not aim to examine individual parts of a model (e.g. numerical methods, parameterisations) separately. All test cases always relate to the entire model and should be carried out with it. The individual criteria in this standard have been developed in analogy with VDI 3783 Part 9, and are adapted from [1 to 3].

Die mit der vorliegenden Richtlinie evaluierten Modelle berücksichtigen den Einfluss von Gebäuden und Hindernissen nicht direkt, sondern parametrisieren diese über eine Oberflächenrauigkeit. Einflüsse großer Gebäudekomplexe (Kühltürme, Hallen) und von Vegetation können, unabhängig von der Gitterweite, nicht direkt berechnet werden. Für Aussagen im direkten Einflussbereich von Gebäuden und anderen kleineren Hindernissen können Modelle, die im Rahmen dieser Richtlinie evaluiert wurden, nicht herangezogen werden. Für die Evaluierung von Modellen zur Gebäude- und Hindernisumströmung gilt diese Richtlinie nicht. Hierzu wird auf VDI 3783 Blatt 9 verwiesen.

Anwendung finden die prognostischen mesoskaligen Modelle neben Beurteilungen von Windfeldern in komplexem Gelände auch in Fällen, in denen thermisch bedingte zeitabhängige Änderungen des Windfelds zu berücksichtigen sind. Beispielsweise können bei einer ausreichenden vertikalen Auflösung der Atmosphäre orografisch und thermisch bedingte Windsysteme (z.B. Strömungskanalisation oder nächtlicher Kaltluftabfluss) simuliert werden. Ausgewählte Anwendungsbeispiele sind in Anhang B aufgeführt.

Typische Modellgebiete haben Seitenlängen von wenigen Kilometern bis hundert Kilometern. Gitterweiten reichen in der Regel horizontal von 100 m bis zu maximal 1 km. Berechnet werden die Wirkungen komplexer Orographien und Landnutzungen, z.B. die Abschattung durch einzelne Berge auf die meteorologischen Felder. Vertikal wird die Grenzschicht aufgelöst gerechnet, turbulente Prozesse werden in ihrem Effekt auf die prognostizierten Größen berücksichtigt. Die hier behandelten Modelle sind geeignet, zeitabhängig (z.B. Tagesgang) zeitlich mittlere Werte (Mittelungszeit etwa 10 min bis 30 min) zu berechnen. Auch wenn die verwendeten Zeitschritte deutlich geringer sind, so erlauben die den gelösten Gleichungen zugrunde liegenden Mittelungen und die genutzten Parametrisierungen keine verlässlichen Aussagen in höherer Zeitauflösung und sind somit nicht geeignet, kurzzeitige Windspitzen direkt zu ermitteln.

Für Strömungen, die durch Temperaturgegensätze ausgelöst werden, könnte Wolkenbildung eine Rolle spielen, da hierdurch die Energiebilanzen und damit die Temperaturgegensätze verändert werden. Für derartige Situationen kann diese Richtlinie nicht angewendet werden, sie gilt lediglich, solange die Übersättigung unterhalb von 10 % liegt.

Die Evaluierungsrichtlinie teilt sich in folgende Bereiche:

The models evaluated with this standard do not take the effect of buildings and obstacles directly into account, but instead parameterise it via a surface roughness. Regardless of grid size, the effects of large building complexes (cooling towers, industrial production facilities) and of vegetation cannot be computed directly. Models evaluated in accordance with this standard cannot be used to provide information in the environment of influence of buildings and other smaller obstacles. This standard does not apply to the evaluation of models relating to flow around buildings and obstacles. We refer the reader to VDI 3783 Part 9.

In addition to the assessment of wind fields in complex terrain, prognostic mesoscale models are also used in cases where thermally induced, time-dependent changes in the wind field need to be taken into account. For example, given sufficient vertical resolution of the atmosphere, orographically and thermally induced wind systems (e.g. flow channelling or nocturnal cold air drainage) can be simulated. Selected application examples are discussed in Annex B.

Typical model domains range in length from a few kilometres to hundreds of kilometres. Grid sizes usually range horizontally from 100 m to a maximum of 1 km. The models compute the effects of complex orography and land use, e.g. shadowing by individual mountains, on the meteorological fields. Vertically, the resolved boundary layer is computed, with the effect of turbulent processes on the forecast variables taken into account. The models dealt with here are suitable for temporal simulation (e.g. in a diurnal cycle) of time averages (averaging period ca. 10 min to 30 min). Even where the time steps used are significantly shorter, the means underlying the solved equations and the parameterisations used do not permit reliable information to be obtained at a higher temporal resolution, thus being unsuitable for computing directly short duration wind peaks.

Cloud formation may play a part in flows generated through temperature contrasts, since the clouds modify the energy balance and therefore the temperature contrasts. This standard cannot be used for such situations; it is applicable only as long as the supersaturation is below 10 %.

The evaluation standard is made up of the following parts:

- a) Prüfungen, die vom Modellentwickler durchzuführen sind (Abschnitt 5)
- allgemeine Bewertung (Abschnitt 5.1)
Sie enthält Anforderungen hinsichtlich der Dokumentation, der Nachvollziehbarkeit und Realisierung des Modells.
 - wissenschaftliche Bewertung (Abschnitt 5.2)
Sie enthält Anforderungen hinsichtlich des Umfangs des physikalischen Gleichungssystems, der Art der Parametrisierung, der Rand- und Anfangsbedingungen des Modells.
 - Validierung (Abschnitt 5.3)
Hierfür dienen eine Reihe von Testfällen, zugehörige Fehlermaße und Vorgaben zur Bewertung der Modellergebnisse.
 - Die Ergebnisse der Prüfungen sind bewertend zusammenzufassen (Abschnitt 5.4).

- b) Vorgaben, die vom Modellanwender zu beachten sind (Abschnitt 6)

Diese Vorgaben sind auch vom Modellentwickler zu beachten, wenn er als Modellanwender die in Abschnitt 5.3 genannten Testfälle durchführt.

- Vorgaben zu Modellgebietsgröße und Rechengitter (Abschnitt 6.1)
- Vorgaben zur Initialisierung (Abschnitt 6.2)
- Hinweise zur Quasistationarität der Lösung (Abschnitt 6.2.1)
- Vorgaben zur Ergebniskontrolle (Abschnitt 6.3)
- Vorgaben zur Dokumentation der durchgeführten Modellrechnungen (Abschnitt 6.4)
- Erläuterung der vom Modellanwender durchzuführenden Testfälle (Abschnitt 6.5)

Die Güte der Modellergebnisse hängt wesentlich von der Genauigkeit der Eingangsdaten ab. Auch bei einem evaluierten Modell muss äußerste Sorgfalt auf die Auswahl und Aufbereitung der Eingabedaten gelegt werden. Ebenso bedeutsam sind die Wahl des Rechengitters und die Größe des Modellgebiets. Der Modellanwender muss über hinreichenden Sachverstand und umfangreiche Erfahrungen im Umgang mit prognostischen mesoskaligen Windfeldmodellen und der meteorologischen Bewertung ihrer Ergebnisse verfügen.

- a) tests to be performed by the model developer (Section 5)

- general evaluation (Section 5.1)
The general evaluation contains requirements relating to the model documentation, comprehensibility and realisation.
- scientific evaluation (Section 5.2)
It contains requirements relating to the scope of the physical system of equations, the type of parameterisation, the boundary conditions and the initial conditions of the model.
- validation (Section 5.3)
This is carried out with a series of test cases, associated error measures and specifications for evaluating the model results.
- The test results are to be summarised and evaluated (Section 5.4).

- b) specifications to be followed by the model user (Section 6)

These specifications should also be followed by the model developer when carrying out the test cases listed in Section 5.3 as a model user.

- specifications relating to the size of the model domain and the simulation grid (Section 6.1)
- specifications relating to initialisation (Section 6.2)
- advice concerning the quasi-stationary nature of the solution (Section 6.2.1)
- specifications relating to reviewing the results (Section 6.3)
- specifications relating to the documentation of the model simulations performed (Section 6.4)
- explanation of the test cases to be carried out by the model user (Section 6.5)

The quality of the model results depends significantly on the accuracy of the input data. Even with an evaluated model, the greatest care is to be taken when selecting and conditioning the input data. Furthermore, the choice of the simulation grid and the size of the model domain is of big importance. The model user has to have adequate expertise and extensive experience in dealing with prognostic mesoscale wind field models and the meteorological evaluation of their results.

2 Normative Verweise

Das folgende zitierte Dokument ist für die Anwendung dieser Richtlinie erforderlich:

VDI 3783 Blatt 16:2015-06 Umweltmeteorologie; Prognostische mesoskalige Windfeldmodelle; Verfahren zur Anwendung in Genehmigungsverfahren nach TA Luft

2 Normative references

The following referenced document is indispensable for the application of this standard:

VDI 3783 Part 16:2015-06 Environmental meteorology; Prognostic mesoscale wind field models; Methods for licensing procedures according to TA Luft