

Round Robin Numerical Flow Simulation in Wind Energy, Part 1: Description of Test

Ringversuch Numerische Strömungssimulation in der Windenergie, Teil 1: Testbeschreibung

F. Durante, V. Riedel, U. Bunse, P. Busche, H. Mellinghoff,
Dr. K. Mönnich, T. Schorer; DEWI Wilhelmshaven



ENGLISH - DEUTSCH

The project presented here is too important and extensive in our opinion to be covered by a single article. Therefore we decided to split the project report in two parts, the second of which will be published in the next DEWI-Magazin. In the first part presented in this issue, the goals, methods and procedure of the round robin test are described.

1. Introduction

In 2004, funding of the project "Round Robin Numerical Flow Simulation in Wind Energy", project number FKZ 0329965, was approved by the Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) (Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety) to an extent of 50% of the project costs. The remaining portion of the costs were provided by the sponsoring companies Bremer Landesbank, Commerzbank, Deutsche Immobilien Leasing GmbH, GE Energy, HSH Nordbank, Nord/LB, Ostwind Verw. Ges., WPD Beteiligungs GmbH, DEWI GmbH and by the fees of the participants in the test. In the meantime, the project was concluded successfully.

The project dealt with the investigation of the numerical flow simulation models (also called "CFD - computational

Das in diesem Artikel vorgestellte Projekt ist unserer Ansicht nach zu wichtig und zu umfangreich, als dass man ihm mit einem einzigen Artikel gerecht werden könnte. Deshalb haben wir uns entschieden, den Bericht über das Projekt auf zwei Artikel zu verteilen, wobei der zweite Teil im folgenden DEWI-Magazin erscheinen wird. In diesem ersten Teil des Artikels wird der Ringversuch zunächst hinsichtlich seiner Ziele und Methoden und hinsichtlich des Ablaufs beschrieben.

1. Einleitung

Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit bewilligte im Jahr 2004 Förderung für das Projekt "Ringversuch Numerische Strömungssimulation in der Windenergie", Förderkennzeichen 0329965, im Umfang von 50% der Projektkosten. Der verbleibende Teil der Kosten wurde durch die Förderer Bremer Landesbank, Commerzbank, Deutsche Immobilien Leasing GmbH, GE Energy, HSH Nordbank, Nord/LB, Ostwind Verw. Ges., WPD Beteiligungs GmbH, DEWI GmbH und durch die Beiträge der Teilnehmer zur Verfügung gestellt. Das Projekt wurde in der Zwischenzeit erfolgreich abgeschlossen.

	Name and version of the used model	Developer of the model	References on the model	Sub-grid turbulence parametrization (turbulence closure)	General Type of Grid	Typical calculation time to obtain information on wind conditions in a wind farm in complex terrain (about 1km ²). If you run time dependent simulations, consider a period of one year.
Anemos Gesellschaft für Umweltmeteorologie mbH	MMS + METRAS	MMS: Pennsylvania State University /NCAR, Metras: Univ. HH	X ¹	MMS: tke based MY 2.5 closure Metras: MY level 2.5	MMS: Cartesian Metras: Cartesian	MMS: 1-2 month Metras: 1-2 month
GEO-NET Umweltconsulting GmbH	FITNAH	G. Gross, Hannover	X ²	TKE	Variable (horizontal), terrain following (vertical)	1-3 days
Lahmeyer International GmbH	KLIMM_32	Institute of Atmospheric Physics, University of Mainz, Lahmeyer Int.	X ³	1st order scheme, TKE based	Cartesian	Typically 20 m resolution with 50 x 50 x 40 cells require 2 days for stationary condition on a modern PC
Meteodyn (France)	Meteodyn WT 2.0	METEODYN	X ⁴	TKE Based	Structured grid with vertical and horizontal refinement	One day
RWTÜV Systems GmbH	Austal2000	Ingenieurbüro Janicke, Dunum	not specified	not specified	not specified	not specified
Fachhochschule Kiel, FB Maschinenwesen	FLUENT 5	FLUENT Inc.	not specified	standard k-epsilon	unstructured BFC	2-4 hours of CPU time for one run (time step)
Kyushu-University (Japan)	LES	Kyushu University, CRC Research Institute, Inc.	X ⁵	Large eddy simulation or Pseudo large eddy simulation	Structured/Boundary Fitted	Several years with finest scale analysis
REpower Systems AG	WindSim 4.7.0	WindSim AS	X ⁶	k-epsilon	Boundary Fitted Coordinates BFC	not specified

- X¹ MMS: <http://www.mmm.ucar.edu/mm5/>, Metras: Schlünzen, K.H., Bigalke K., Lüpkes C. & Niemeier U. von Salzen K. (1996): Concept and realization of the mesoscale transport- and fluid-model METRAS. Meteorologisches Institut Universität Hamburg. METRAS Techn. Report, 5, pp 156
- X² e.g. Meteorol. Ztschr., 2002, 295-302; J. Geophys. Res. 1998, 7875-7886, Numerical simulation of canopy flows, Springer Verlag 1993
- X³ Beitr. Phys. Atmosph., November 1997, p.301-317, A Three-Dimensional Viscous Topography Mesoscale Model
- X⁴ www.meteodyn.com; „For a reliable wind assessment whatever the terrain“, D.Delaunay, poster EWEC 04.
- X⁵ „Wind field evaluation in complex terrain for transport safety applications“, D.Delaunay, ERCOFTAC 04.
- X⁶ Kogaki, T., Kobayashi, T., Taniguchi, N., 1999, „Conservative Finite Difference Schemes for Incompressible Turbulent Flow in Generalized Coordinates“, Turbulence and Shear Flow Phenomena -1: First International Symposium, Santa Barbara, California.
- websites: www.windsim.com <http://www.cham.co.uk/>, http://www.cham.co.uk/phoenics/d_polis/d_enc/encindex.htm,
Papers are available in www.windsim.com

Tab. 1: Extract from the questionnaire. The complete questionnaire comprises 35 model characteristics and can be seen in the Final Report [1].

Tab. 1: Kurzer Auszug aus dem Teilnehmer-Fragebogen. Der vollständige Fragebogen umfaßt 35 Modell-Eigenschaften und kann im Endbericht [1] eingesehen werden.

fluid dynamics - models”) and with the site assessment service “Flow Simulation” based on these models which allows to calculate the wind conditions in complex terrain. These CFD models are used by engineering service providers, by wind turbine manufacturers, and partly also for academic research purposes.

The aim of the project was an independent and systematic verification and assessment of the models and model calculations offered by various service providers in order to investigate the suitability of the different flow models as an alternative calculation method for energy yield assessments.

2. Participants

At the beginning of the project, companies and universities all over the world working in the field of flow simulation in wind energy were contacted and asked if they were interested in taking part in the round robin test. For participation in the round robin test the companies/universities had to pay a fee. Six companies, one university and one Fachhochschule (university of applied sciences) finally took part in the round robin test (see the first column in Tab. 1). Among the participants there is one French company and a Japanese university, the other participating companies/institutions are from Germany.

Untersuchungsgegenstand des Projekts waren numerische Strömungssimulationsmodelle (oft auch "CFD-Modelle" genannt) bzw. die darauf basierende Dienstleistung "Strömungssimulation", mit deren Hilfe die für Windenergie-Anwendungen relevanten Windbedingungen in komplexem Gelände berechnet werden können. Diese Strömungssimulationsmodelle werden sowohl von Ingenieur-Dienstleistern als auch von Windenergie-Anlagenherstellern eingesetzt. Weiterhin wird zum Teil im akademischen Umfeld daran gearbeitet.

Ziel des Projekts war eine unabhängige und systematische Verifizierung und Bewertung der von den verschiedenen Dienstleistern angebotenen Modelle bzw. Modellberechnungen, um das verfügbare Potential an Strömungsmodellen hinsichtlich der Nutzbarkeit als alternative Berechnungsmethode für Ertragsprognosen zu untersuchen.

2. Teilnehmer

Zu Beginn des Projekts wurden weltweit Firmen und Universitäten/Fachhochschulen, die im Bereich Strömungssimulation in der Windenergie arbeiten, kontaktiert und gefragt, ob sie an dem Ringversuch teilnehmen möchten. Die Teilnahme am Ringversuch war mit der Zahlung einer Teilnahmegebühr verbunden. Insgesamt 6 Firmen, eine Universität und eine Fachhochschule nahmen am Ringversuch Teil (siehe erste Spalte in Tabelle 1). Unter den Teilnehmern be-

3. Models

The spectrum of models used by the participants in the test was very wide; there were mesoscale and microscale models with different input and output interfaces. At the beginning of the project it was therefore necessary to establish which input data the participants required for their simulations, which output they were able to produce and in which data formats the data were to be kept. For this purpose a detailed questionnaire was sent to the participants, which contained questions about data and data formats and about technical details of the models used. By means of this questionnaire it was possible to lay down the technical specifications for the performance of the test. Only data formats that are normally used in wind energy applications and can easily be converted in other formats were used. [Tab. 1](#) shows a selected part of the information returned by the participants about the technical description of their models.

Only a part of the models is provided with a version number, the term 'model' referring here to the complete software used, i.e. not only to the flow model itself, but also to the pre- and postprocessing. For the purposes of verification it is necessary, strictly speaking, that the entire software used by a service provider for his calculations is subject to a strict and transparent versioning system to be able to ascertain to which software version the verification is referring. Considering that even strictly versioned models can have differently set parameters (e.g. regarding the spatial resolution), it becomes clear that it is not possible to make the models themselves the subject of comparison, but only the specific simulations based on these models.

4. The Dummy Run

At the beginning of the project a so-called "dummy-run" was carried out which was similar to the main part of the round robin test, but in which the results submitted by the participants were only checked with regard to their formal correctness and not quantitatively. For the dummy run an extremely complex site in the Austrian Alps was used [1]. For the participants it was useful to get familiar with the test procedure and to practice the handling of the test data. They received a feedback on the conformity of their results with the specified data formats and were able to adapt their interfaces successfully. From the point of view of today, the dummy-run was very useful and successful, because during the main test, in contrast to the dummy run, no major problems with the formats of the data submitted were observed.

5. Site Selection

After having clarified ownership and right of use of the data, a large number of sites and wind measurements in complex terrain (carried out by DEWI and other companies) were checked regarding their suitability for the round robin test. In some cases flow simulations were performed in order to investigate if the effects measured could be explained meteorologically. It soon became

Fig. 1: Speed-up factors regarding the two target masts versus the reference mast.

Abb. 1: Speed-up Faktoren für die zwei Ziel-Masten bezüglich des Referenzmasts.

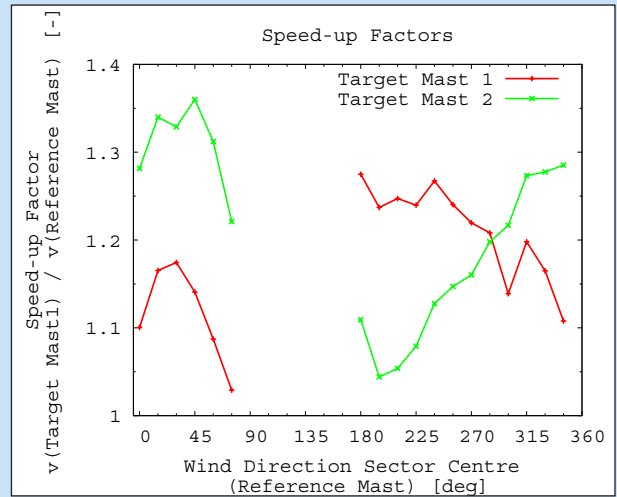


Fig. 2: Wind direction and wind speed distribution at the reference mast at 43m agl.

Abb. 2: Windrichtungs- und Windgeschwindigkeitsverteilung am Referenzmast in 43 m Höhe über Grund

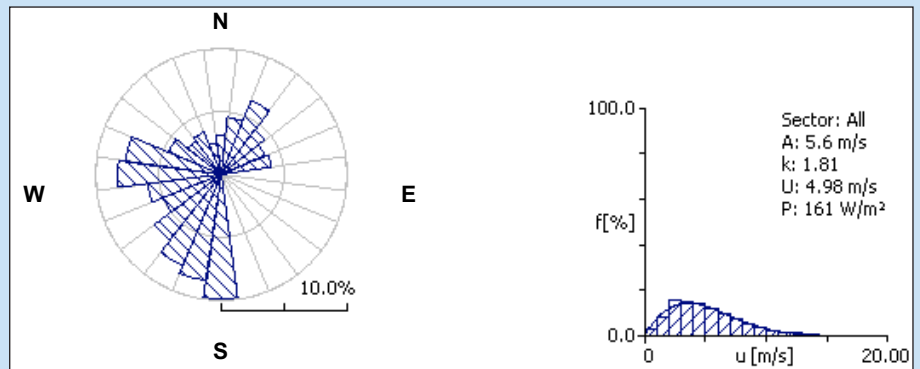


Fig. 3: Wind direction and wind speed distribution at target mast 1 at 80m agl.

Abb. 3: Windrichtungs- und Windgeschwindigkeitsverteilung am Zielmast 1 in 80 m Höhe über Grund

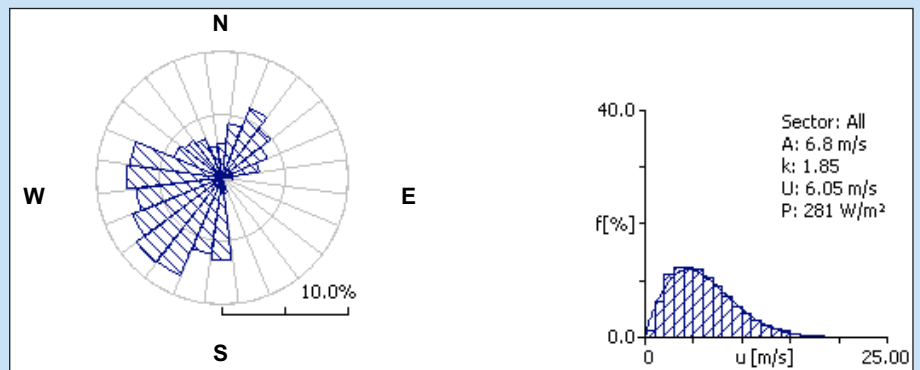
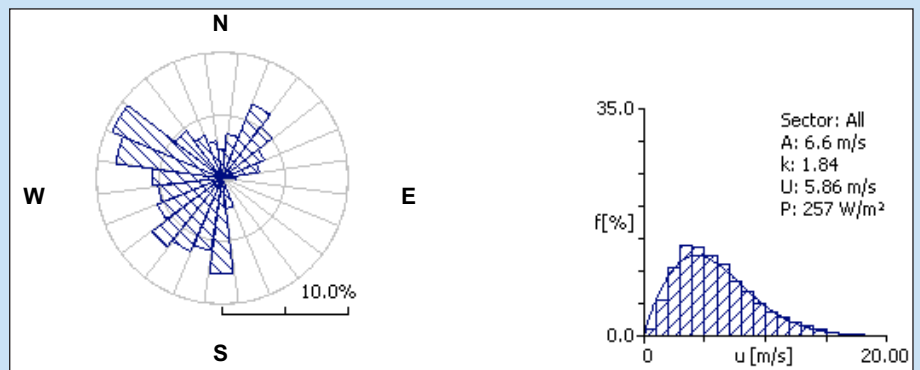


Fig. 4: Wind direction and wind speed distribution at target mast 2 at 80m agl.

Abb. 4: Windrichtungs- und Windgeschwindigkeitsverteilung am Zielmast 2 in 80 m Höhe über Grund.



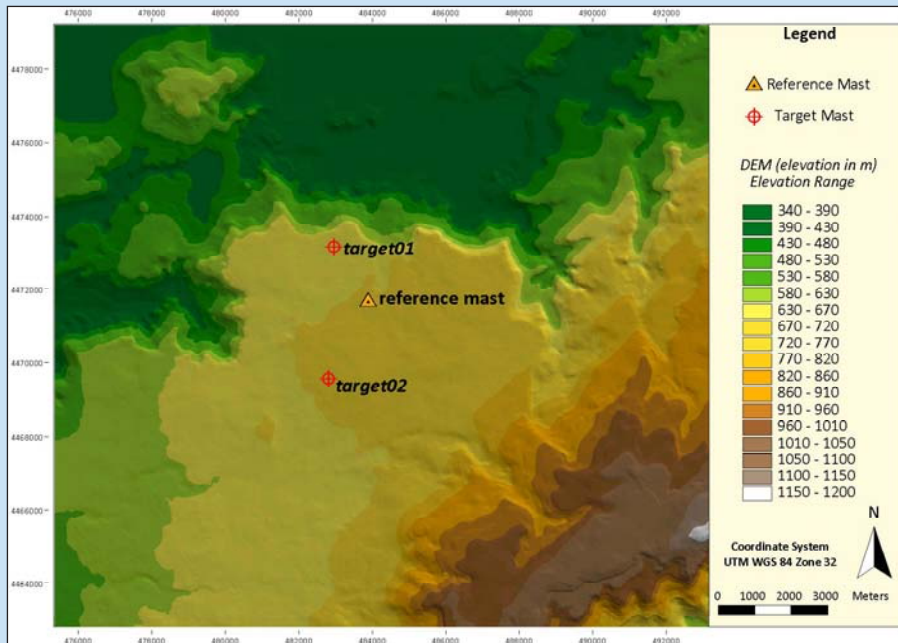


Fig. 5: Overview of the masts used in the immediate vicinity of the test.

Abb. 5: Übersicht über die unmittelbare Umgebung der im Test verwendeten Masten.

obvious that an important requirement to be met by the test site, i.e. to provide complex wind conditions with strong non-linear, terrain-induced flow effects, might collide with the requirement for a high quality of the wind measurement data. Even if the measuring equipment fully conforms to the standards, measurement errors can increase with the complexity of flows; the more the actual flow is differing from the laminar, strictly horizontal flow for which e.g. cup anemometers are calibrated in the wind tunnel, the bigger the measuring errors. This fact is not new, but what we did not know so far, was its extent and the importance it had for the round robin test. There are situations in which it is difficult to decide if a measured effect results from meteorological causes, measuring errors or a mixture of both. Problems with wind measurements in complex terrain relevant for the test are related to inclined flow and to wind direction measurement. Because wind conditions in complex terrain strongly depend on wind direction and this is also reflected by the flow models, inaccuracies in the measurement of the wind direction can have a considerable effect on the calculation results. Therefore, when setting up a wind measurement, the wind direction measurement should be treated with the same care as the wind speed measurement, in particular with regard to the alignment of the north mark, the type of wind vane used and the avoidance of any disturbances by the mast.

6. Input Data

At the end of the selection process a plateau bordered on one side by a mountain range on the Mediterranean island of Sardinia was chosen as main test site (see Fig. 5). The complexity of the terrain is comparatively low. There are, however, characteristic flow

findet sich eine französische Firma und eine japanische Universität, die übrigen Teilnehmenden Firmen/Institutionen sind in Deutschland beheimatet.

effects suitable for testing the models, for example very characteristic speed-up factors (Fig. 1).

The data given to the participants for the site consisted of wind speed data from a wind measurement according to IEA/IEC ([3], [4]) in the form of a time series with 10-minute averaging interval, covering the period between 9.11.2005 and 1.7.2006. The wind direction and wind speed distribution of this measurement has been documented in Fig. 2. Additionally, Fig. 3 and Fig. 4 show the simultaneous distributions at the two target masts. The data of these target masts were not available to the participants.

Furthermore the participants were provided with atmospheric sounding data and global reanalysis data. The data set also included a digital elevation model with a resolution of 90 metres (SRTM data). Additionally, information about the land use and surface roughness were made available.

7. Scope of the Test

Of the three wind measurements installed at the test site (see Fig. 5) the participants received the wind speed data of the reference mast at 43 m above ground level and were asked to calculate the simultaneous wind conditions for the top anemometer positions of the two neighbouring 80m masts. The horizontal distance to be bridged was just a few kilometres in plain terrain on the plateau.

The participants had to extrapolate the measurement data of the 40 m mast towards the two 80 m masts and to submit the resulting wind statistics for the two target masts to DEWI as their result. Additionally, the measurement data of the 40m mast had been divided into 15° sectors, and the participants were asked to transform the data of each sector separately towards the two target masts and to return to DEWI the transformed data from each of those sectors as a result. The second step regarding the sector-wise transformation enabled DEWI to carry out detailed wind direction dependent analyses that allowed a more detailed model assessment.

The results submitted by the participants were compared by DEWI with each other and with the measurement data under a large number of wind energy-relevant aspects. Important components of this comparison were energy yields for stand-alone wind turbines and a model wind farm, analyses of the mean, mean squared and mean cubed wind speed and maps of the mean wind speed for various levels above ground. Furthermore the accuracy with which the participants had been modelling the measured systematic wind direction effects was investigated. All these analyses were carried out both independently of the wind direction and taking into account the 15° wind direction sectors.

The results will be outlined in detail in the next issue of DEWI Magazin.

This project has been supported by the Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety), Förderkennzeichen (project number) 0329965.

3. Modelle

Das Spektrum der Modelle, die die Teilnehmer im Test verwendeten, war sehr groß; es waren sowohl meso-skalige als auch mikro-skalige Modelle mit unterschiedlichsten Ein- und Ausgabeschnittstellen beteiligt. Zu Beginn des Projekts wurde deshalb ermittelt, welche Eingangsdaten die Teilnehmer für ihre Simulationen benötigen, welchen Output sie produzieren können und in welchen Datenformaten die Daten zu halten sind. Dazu wurde ein Fragebogen an die Teilnehmer ausgegeben, in dem neben Fragen zu Daten und Datenformaten zusätzlich Fragen zu technischen Details der verwendeten Modelle enthalten waren. Mit Hilfe dieses Fragebogens war es möglich, die Durchführung des Ringversuchs in technischer Hinsicht festzulegen. Dabei wurde darauf geachtet, solche Datenformate zu verwenden, die sowohl im Windenergie-Bereich ohnehin verwendet werden als auch einfach in andere Formate zu konvertieren sind. In Tabelle 1 sind die mit Hilfe dieses Fragebogens ermittelten Informationen bezüglich der Modellbeschreibungen auszugsweise dokumentiert.

Nur ein Teil der Modelle ist mit einer Versionsnummer versehen, wobei der Begriff "Modell" sich auf die gesamte verwendete Software bezieht, also nicht nur auf das Strömungsmodell selbst, sondern auch auf die vor- und nachgeschaltete Datenverarbeitung. Für Zwecke der Verifizierung ist es aber streng genommen erforderlich, dass die gesamte Software, die der Dienstleister für die Berechnungen verwendet, strikter, transparenter Versionierung unterliegt, damit feststeht, auf welche Software sich die Verifizierung eigentlich bezieht. Berücksichtigt man weiterhin, dass selbst strikt versionierte Modelle unterschiedlich parametrisiert werden können (z.B. bezüglich räumlicher Auflösung), ist es folglich nicht möglich, die Modelle selbst zum Gegenstand des Vergleichs zu machen, sondern nur die darauf aufbauende spezifische Simulation.

4. Der "Vor-" Test ("dummy-run")

Zu Beginn wurde ein sogenannter "dummy-run" durchgeführt, der dem folgenden Hauptteil des Ringversuchs glich, jedoch wurden die Ergebnisse der Teilnehmer ausschließlich bezüglich ihrer formalen Korrektheit und nicht quantitativ überprüft. Für den "dummy-run" wurde ein extrem komplexer Standort in den Österreichischen Alpen [1] herangezogen. Die Teilnehmer nutzten dabei die Möglichkeit, die Test-Prozedur und die Handhabung der Test-Daten kennenzulernen. Sie erhielten Rückmeldung über die Konformität ihrer Ergebnisse zu den Datenformat-Spezifikationen und konnten ihre Schnittstellen erfolgreich anpassen. Der beschriebene "dummy-run" muss im Nachhinein als sehr nützlich und erfolgreich bewertet werden, denn im Hauptteil des Tests traten, im Unterschied zum "dummy-run", keine wesentlichen Probleme bezüglich der Datenformate der eingesandten Daten auf.

5. Standortwahl

Nach Klärung von Eigentums- und Verwendungsrechten haben wir für den Hauptteil des Ringversuchs eine Vielzahl von Standorten und Windmessungen in komplexem Gelän-

de (eigene und die anderer Firmen) im Hinblick auf ihre Verwendbarkeit für den Ringversuch überprüft. Dabei wurden in einigen Fällen Strömungssimulationen durchgeführt, um zu prüfen, ob gemessene Effekte sich prinzipiell meteorologisch begründen lassen; dabei wurde folgendes klar: Der wichtige Anspruch an den Test-Standort, komplexe Windbedingungen mit stark nichtlinearen, geländeinduzierten Strömungseffekten aufzuweisen, kann mit der Anforderung einer hohen Qualität der Windmessdaten kollidieren, denn trotz Messaufbauten, die konform zu aktuellen Standards sind, können messtechnische Probleme mit der Strömungskomplexität zunehmen, und zwar um so mehr, je gravierender sich die reale Strömung von laminarer, strikt horizontaler Strömung, für die beispielsweise Schalensternanemometer im Windkanal kalibriert werden, unterscheidet. Dieser Zusammenhang ist zwar bekannt, nicht aber unbedingt dessen Ausmaß und die Bedeutung für den Ringversuch. Man findet Situationen, in denen es schwierig ist, zu entscheiden, ob ein gemessener Effekt auf meteorologische Ursachen, auf messtechnische Probleme oder auf eine Vermischung von beidem zurückgeführt werden muss. Für den Test relevante Probleme bezüglich Windmessungen in komplexem Gelände beziehen sich auf Schräganströmung der Anemometer und auf die Windrichtungsmessung. Weil an komplexen Standorten die Beeinflussung der Windbedingungen durch das Gelände sehr stark von der Windrichtung abhängt und Strömungsmodelle dies auch auflösen, können Ungenauigkeiten in der Windrichtungsmessung gravierende Auswirkungen auf die Berechnungsergebnisse haben. Bei der Planung, dem Aufbau und dem Betrieb von Windmessungen sollte deshalb der Windrichtungsmessung ähnlich viel Aufmerksamkeit geschenkt werden wie der Windgeschwindigkeitsmessung und zwar im Hinblick auf die Ausrichtung der Nordmarkierung, im Hinblick auf den Typ der Windfahne und im Hinblick auf die Vermeidung von Störungen durch den Mast.

6. Eingangsdaten

Nach Beendigung des Auswahlverfahrens wurde ein Standort auf einem durch eine Bergkette begrenzten Hochplateau auf der Mittelmeerinsel Sardinien als Standort für den Ringversuch ausgewählt (siehe Abb. 5). Der Standort weist nur eine verhältnismäßig geringe Komplexität auf. Es treten dennoch sehr charakteristische Strömungseffekte auf, anhand derer die Modelle getestet werden können, beispielsweise sehr charakteristische speed-up Faktoren (Abb. 1).

Die Daten, die die Teilnehmer im Ringversuch für den Standort erhielten, umfassten zum einen Windmessdaten von einer IEA/IEC-konformen ([3], [4]) Windmessung in Form einer Zeitreihe mit 10-Minuten Mittelwerten, die den Zeitraum vom 9.11.2005 bis zum 1.7.2006 umfaßt. Die Häufigkeitsverteilung dieser Windmessung ist in Abb. 2 dokumentiert. Zusätzlich zeigen Abb. 3 und Abb. 4 die simultanen Verteilungen an den beiden Ziel-Masten. Die Daten dieser Ziel-Masten standen den Teilnehmern nicht zur Verfügung.

Weiterhin erhielten die Teilnehmer Daten von atmosphärischen Messsonden und globale Reanalysis-Daten. Der Datensatz umfaßte weiterhin ein digitales Höhenmodell mit einer Auflösung von 10 Metern und ein von der Ausdehnung her größeres Geländemodell mit einer Auflösung von 90 Metern (SRTM-Daten). Zusätzlich wurden Informationen über die Landnutzung und Oberflächenrauigkeit bereitgestellt.

7. Testumfang

Von den am Test-Standort installierten drei Windmessungen (siehe Abb. 5) erhielten die Teilnehmer die Windmessdaten des Referenzmasts in 43m Höhe über Grund und waren aufgefordert, die simultanen Windbedingungen für die Top-Anemometer-Positionen der zwei benachbarten 80m-Masten zu berechnen. Die zu überbrückende horizontale Distanz lag bei wenigen Kilometern in ebenem Gelände auf dem Hochplateau.

Die Teilnehmer mussten zum einen die vorliegenden Messdaten des 40m-Masts zu den beiden 80m-Masten extrapolieren und die dort berechneten Windstatistiken als Ergebnis einsenden. Zum anderen wurden die Messdaten des 40m-Masts in 15° Windrichtungssektoren unterteilt, wobei die Teilnehmer aufgefordert waren, die Daten jedes Sektors separat zu den 80m-Masten zu extrapolieren und diese einzelnen, nach Windrichtungssektoren am 40m-Mast aufgelösten Ergebnisse einzusenden. Diese nach Windrichtungssektoren aufgelöste Prozedur ermöglichte es, die Modellergebnisse sehr detailliert anhand von windrichtungsabhängigen Untersuchungen zu vergleichen.

Die eingesendeten Ergebnisse wurden vom DEWI bezüglich einer Vielzahl von windenergie-relevanten Aspekten miteinander und mit den Messdaten verglichen. Wesentliche Bestandteile dieses Vergleichs waren Energieerträge für freistehende Anlagen und einen Beispiel-Windpark, Analysen der mittleren und der mittleren zur zweiten und dritten Potenz erhobenen Windgeschwindigkeit und Karten der mittleren Windgeschwindigkeit für verschiedene Höhen über Grund. Weiterhin wurde untersucht, mit welcher Genauigkeit die Teilnehmer die gemessenen, systematischen Windrichtungseffekte modellieren. All diese Analysen wurden sowohl unabhängig von der Windrichtung als auch im Hinblick auf 15° Windrichtungssektoren durchgeführt.

Die Ergebnisse werden im nächsten DEWI-Magazin eingehend vorgestellt werden.

Dieses Projekt wurde unterstützt vom Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, Förderkennzeichen 0329965.

Literatur / References

- [1] Durante, F.; Riedel, V.; Bunse, U.; Busche, P.; Mellinshoff, H.; Mönich, K.; Schorer, T.: Round Robin Numerical Flow Simulation in Wind Energy Final Report, DEWI GmbH - Deutsches Windenergie-Institut, Wilhelmshaven, Germany, 2007-05-24.
- [2] www.tauernwind.com
- [3] IEA: IEA Recommendation 11: Wind Speed Measurement and Use of Cup Anemometry, 1st Ed., 1999.
- [4] International Electrotechnical Commission (IEC): IEC61400-12-1 Wind turbines - Part 12-1: Power performance measurements of electricity producing wind turbines, 1st ed., 12/2005.