

Windpotentialmodellierung in komplexem Gelände

Detlev Heinemann, Richard Müller, Hans-Peter Waldl
Werner Hirsch¹, Udo Rindelhardt¹

Abteilung Energie- und Halbleiterforschung, Fachbereich Physik, Carl von Ossietzky Universität,
26111 Oldenburg, FAX 0441/798-3326, e-mail:igor@ehf.uni-oldenburg.de

¹ Forschungszentrum Rossendorf, Postfach 510119, 01314 Dresden, FAX 0351/260-3440

Zusammenfassung

Das Windenergiepotential wird für komplexes Gelände im Binnenland mit zwei rechenzeitökonomischen Modellen simuliert. Hierzu wird das in schwach gegliedertem Gelände Mitteleuropas erprobte und bewährte Programmpaket WAsP, sowie ein einfaches mesoskaliges Strömungsmodell (AIOLOS) verwendet. Die Ergebnisse der Simulationen werden für ausgewählte Standorte verglichen und diskutiert. Die mit dem Modell WAsP berechnete Leistungsdichte, welche im Rahmen einer Windpotentialstudie für Zentralsachsen ermittelt wurde, wird dargestellt.

1 Einleitung

Nachdem die Windenergienutzung in den letzten Jahren insbesondere in den Küstengebieten einen Aufschwung erlebt hat, werden in jüngerer Zeit auch im Binnenland in großer Zahl Windkraftanlagen installiert. Insbesondere Standorte in hügeligem Gelände können Windpotentiale aufweisen, die den Betrieb von Windenergieanlagen betriebswirtschaftlich sinnvoll erscheinen lassen. Windpotentialmodellierungen mit rechenzeitökonomischen Programmen bieten eine kostengünstige Möglichkeit die Wirtschaftlichkeit eines Standortes zu beurteilen. Hierzu ist es jedoch notwendig eine Einschätzung der Möglichkeiten und Grenzen der Modelle zu gewinnen, um deren Fehlertoleranz abschätzen zu können.

2 Die verwendeten Modelle

2.1 WAsP

Das Programmpaket WAsP bietet die Möglichkeit, ausgehend von Langzeitmessungen der Windgeschwindigkeit und Windrichtung Windpotentiale an gegebenen Standorten zu berechnen. Hierbei werden die Eingabewinddaten hinsichtlich des Einflusses der Bodenrauigkeit und der orografischen Struktur der Umgebung sowie nahestehender Hindernisse korrigiert. Das Orografiemodell beruht auf einer Analyse von Jackson und Hunt [1]. Die Berechnung des Orografieinflusses auf das Windfeld am Meßort erfolgt in zwei Schritten: Zunächst wird mithilfe eines Potentialströmungsmodells die orografisch bedingte Änderung der Strömung unter Vernachlässigung der Turbulenz simuliert. Im zweiten Schritt wird die am Standort resultierende orografisch bedingte Turbulenz abgeschätzt und die Strömung um deren Einfluß modifiziert [2].

2.2 AIOLOS

AIOLOS ist ein einfaches von NOABL [3] abgeleitetes hydrostatisches mesoskaliges Strömungsmodell. AIOLOS berechnet ausgehend vom geostrophischen Wind für eine gegebene Bodenrauigkeit ein Initialwindfeld, welches in Bodennähe durch das logarithmische Windprofil beschrieben wird. Die Schubspannungsgeschwindigkeit ist dabei mit dem geostrophischen Wind über das vereinfachte geostrophische Reibungsgesetz verknüpft, welches von Jensen eingeführt wurde [4]. Das Initialwindfeld wird bezüglich des Einflusses der orografischen Struktur des betrachteten Modellgebietes stabilitätsabhängig korrigiert. Die Korrektur basiert auf einer Variationsanalyse unter der Zwangsbedingung der Massenkonsistenz des Ergebniswindfeldes. Das aus der Variationsrechnung resultierende Korrekturwindfeld ist aus einem Potential mit vorgeschalteten Transmissionskoeffizienten ableitbar. Die Transmissionskoeffizienten gewichten das Verhältnis der Um- und Überströmung der Geländeerhöhungen. Der Einfluß der orografisch bedingten Turbulenz wird von dem Modell nicht berücksichtigt.

Die aus der Variationsrechnung gewonnenen Differentialgleichungen werden numerisch gelöst. Das zugrundeliegende Rechengitter weist in der Horizontalen eine äquidistante Auflösung auf. Für die Modellrechnungen wurde diese, je nach Komplexität der zugrundeliegenden Orografie, zwischen 75-200m gewählt.

Die AIOLOS-Rechnungen wurden für homogene Bodenrauigkeiten durchgeführt. Heterogene Bodenrauigkeiten werden von dem Modell nicht befriedigend behandelt. Die Ausbreitung einer internen Grenzschicht nach einem Rauigkeitssprung wird von dem Modell nicht simuliert. Der Einfluß heterogener Bodenrauigkeit, sowie nahestehender

Hindernisse wurde berücksichtigt, indem Korrekturfaktoren mit WASP berechnet wurden. Mit diesen wurden die aus den AIOLOS Rechnungen resultierenden Weibull-Parameter A und k korrigiert.

3 Modellgebiet und Winddaten

3.1 Eingabedaten

Für die Rechnungen mit dem Modell AIOLOS wurde die Häufigkeitsverteilung des geostrophischen Windes, ermittelt aus langjährigen Radiosondenmessungen der Station Dresden, verwendet (Meßzeitraum 1971-1990).

Für die Rechnungen mit dem Modell WASP wurden mit WASP erstellte homogenisierte Windstatistiken (Windatlas-Lib-Files) verwendet, welche aus zeitjährigen Messungen des Bodenwindes in Zentralsachsen ermittelt wurden (Meßhöhe=36m, Meßzeitraum Ende 1992 bis Ende 1994).

Die Unterschiede in der Richtungsverteilung sowie der mittleren Geschwindigkeit des geostrophischen Windes beider Meßzeiträume sind gering (der Unterschied in der mittleren Geschwindigkeit beträgt 1%). Daher kann eine hinreichende Vergleichbarkeit der Modellrechnungen angenommen werden.

3.2 Modellgebiet und Meßdaten

Die Ergebnisse der Modellrechnungen werden mit Daten verglichen, die im Rahmen des sächsischen Windmeßprogrammes ermittelt wurden [5]. Zum Vergleich stehen die Daten von vier Meßstationen zur Verfügung. Der Meßzeitraum erstreckt sich für die drei Stationen Königshain, Ragewitz und Bröbnitz von Ende 1992 bis Ende 1994 und für die Station Hermsdorf von Ende 1992 bis Ende 1995. Die orografische Struktur der Umgebung der Meßstationen wurde in einer Größe von mindestens 7x7 km aufgenommen, und unterscheidet sich hinsichtlich ihrer Komplexität. Die drei Meßstationen Königshain, Ragewitz und Bröbnitz befinden sich in mäßig gegliedertem Gelände in Zentralsachsen nordwestlich von Dresden. In der Umgebung der Meßstationen treten maximale Steigungen von 3-5 % auf. Die Station Ragewitz weist dabei die größten Geländegradianten der drei oben genannten Stationen auf. Die Station Hermsdorf liegt im Erzgebirge südwestlich von Dresden in stark gegliedertem Gelände. Die orografische Struktur der Umgebung der Stationen ist in den Abbildungen 1 und 2 illustriert.

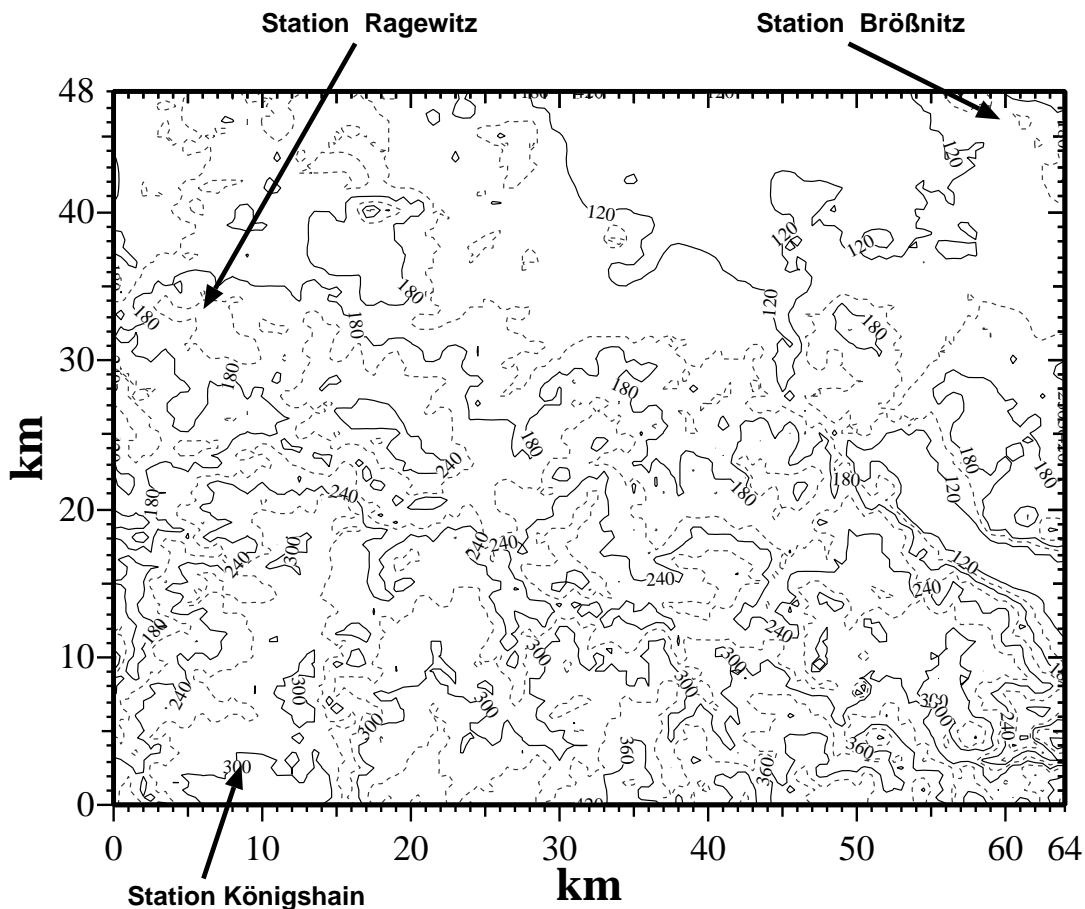


Abbildung 1: Das Gebiet von Zentralsachsen nordwestlich von Dresden mit den Stationen Königshain, Ragewitz und Bröbnitz

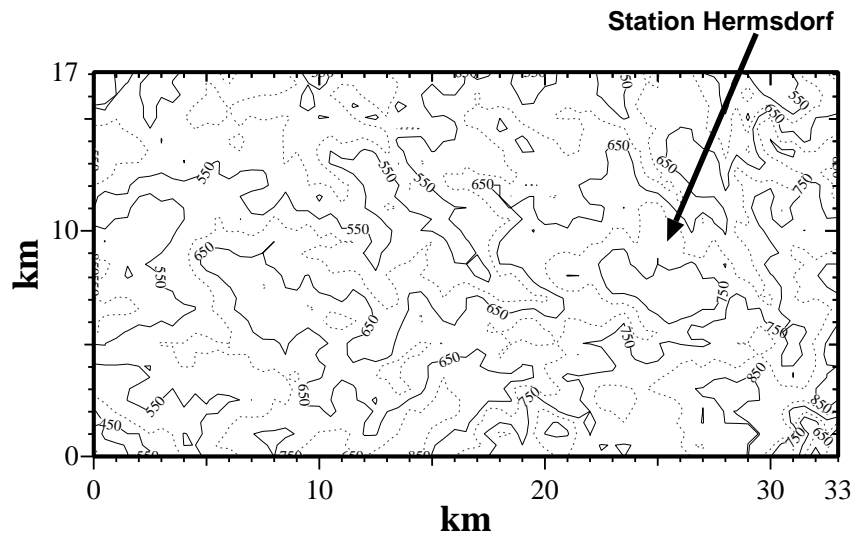


Abbildung 2: Ausschnitt aus dem Erzgebirge mit der Station Hermsdorf

4 Vergleich mit den Meßdaten

In der Tabelle 1 werden die Ergebnisse der Modellrechnungen mit den Meßdaten verglichen. Es sind jeweils die A- und k- Parameter, die daraus resultierenden Werte der mittleren Geschwindigkeit v_m und der Leistungsdichte P, sowie deren prozentuale Abweichungen von den Meßdaten dargestellt.

4.1 Diskussion der Ergebnisse

Die AIOLOS Modellläufe ergeben eine Unterschätzung des A sowie des k-Parameters. Während die kleineren A-Parameter eine zu geringe mittlere Windgeschwindigkeit bedingen, führt ein

kleinerer k-Parameter zu einer Erhöhung der Leistungsdichte. Somit ergibt sich, trotz relativ großer Unterschätzung des A-Parameters, für mäßig gegliedertes Gelände bezüglich der Leistungsdichte eine recht gute Übereinstimmung zwischen den AIOLOS-Ergebnissen und den Meßdaten.

Für die Meßstation im stark gegliederten Gelände zeigen beide Modelle große Abweichungen.

Insgesamt zeigen die WAsP-Rechnungen eine bessere Übereinstimmung mit den Meßdaten. Die Abweichungen im mäßig gegliederten Gelände fallen dabei sehr gering aus.

Meßstation	Modell	A	k	v_m [m/s]	P [W/m ²]	Δv [%]	ΔP [%]
Königshain	AIOLOS	6.80	1.77	6.05	296	-1.7	+ 10.0
	WAsP	7.06	2.03	6.26	283	+1.8	+5.2
36m a.g.l.	Meßdaten	6.95	2.01	6.15	269	—	—
Ragewitz	AIOLOS	6.68	1.84	5.94	267	-7.3	-9.5
	WAsP	7.29	1.97	6.46	321	+0.8	+8.8
36m a.g.l.	Meßdaten	7.24	2.08	6.41	295	—	—
Bröbnitz	AIOLOS	6.63	1.77	5.90	275	-6.5	-2.8
	WAsP	6.92	1.93	6.14	281	-2.7	-0.8
36m a.g.l.	Meßdaten	7.12	2.08	6.31	283	—	—
Hermsdorf	AIOLOS	6.21	1.82	5.52	218	-20.7	-41.7
	WAsP	6.9	1.93	6.12	277	-12.1	-25.9
30m a.g.l.	Meßdaten	7.86	2.12	6.96	374	—	—

Tabelle 1 : Vergleich der Modellrechnungen mit den Meßdaten. Für die Stationen Ragewitz, Bröbnitz und Hermsdorf wurden die angegebenen WAsP Resultate ausgehend von den gemessenen Daten der Station Königshain, für Königshain selbst, ausgehend von den gemessenen Daten der Station Bröbnitz ermittelt. Hierzu wurden aus den gemessenen Daten Windatlas-Lib-Files erstellt.

5 Das Windenergiepotential Zentralsachsens

Die mit WAsP berechneten flächendeckenden Leistungsdichten für das Gebiet von Zentralsachsen sind in der Abbildung 3 dargestellt. Diese stellen eine wichtige Grundlage für die Ausweisung von Flächen zur Errichtung einzelner Windkraftanlagen oder Windparks dar. Die Windpotentialstudie mit dem Programm WAsP wurde durch das Sächsische Staatsministerium für Umwelt und Landesentwicklung gefördert.

6 Schlußfolgerungen

WAsP läßt in mäßig gegliedertem Gelände eine zufriedenstellende Übereinstimmung von simulierten und realen Windpotentialen erwarten. Die Verwendung des Modelles AIOLOS führt aufgrund der zugrundeliegenden einfachen Beschreibung der Strömungsverhältnisse in Bodennähe nicht zu Verbesserungen in der Potentialabschätzung

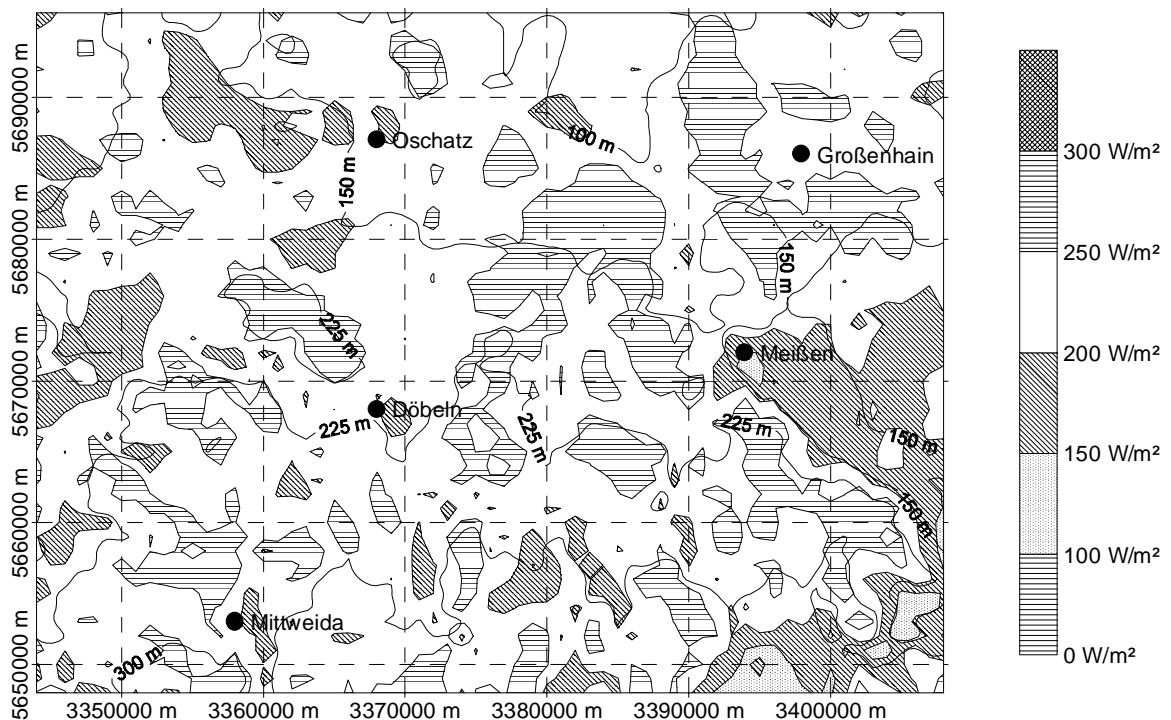


Abbildung 3: Dargestellt ist die Leistungsdichte in 40 m Höhe über Grund für das Gebiet von Zentralsachsen berechnet mit WAsP unter Berücksichtigung heterogener Bodenrauigkeit

Literatur

- [1] Jackson P.S, Hunt J.C.R. "Turbulent wind flow over a low hill", Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 101, 929-955, (1975)
- [2] "Europäischer Windatlas", Meteorology and Wind Energy Department, Riso National Laboratory, Denmark, (1990)
- [3] Traci R.M. et.al "Developing a Site Selection Methodology for Wind Energy Conversion Systems, DOE/ET/20280, N.T.I.S. ,(1978)
- [4] Jensen, Peterson, Troen "Extrapolation of mean wind statistics with special regard to wind energy applications", World Meteorological Organisations, WCP-86, Geneve, (1984)
- [5] Hirsch W. , Rindelhardt U. , "Windmeßprogramm Sachsen, Teil II, FZ Rossendorf, (Juli 1996)
- [6] "Untersuchungen zur Windpotentialmodellierung in gegliederten Gelände " Diplomarbeit, Universität Oldenburg, (1996)