

# EINFLUSS DES DÄNISCHEN UND DES DEUTSCHEN WETTERVORHERSAGEMODELLS AUF DIE QUALITÄT EINER 48-STUNDEN- WINDLEISTUNGSPROGNOSE

Hans-Peter Waldl, Gregor Giebel

Carl von Ossietzky Universität Oldenburg  
Fachbereich Physik, Abteilung Energie- und Halbleiterforschung  
D-26111 Oldenburg, Fax: +49 441 798-3326,  
office@ehf.uni-oldenburg.de, www.physik.uni-oldenburg.de/ehf

Risø National Laboratory, P.O. box 49,  
DK-4000 Roskilde, Tel/Fax: +45 4677 5095 / 5970  
Gregor.Giebel@Risoe.DK

## Zusammenfassung

Systeme zur Windleistungsprognose werden heute operationell eingesetzt. Diese arbeiten auf der Basis einer Verfeinerung der Ergebnisse numerischer Wettervorhersagemodelle, wie sie von den Wetterdiensten betrieben werden. Die Vorhersageergebnisse weisen im Vergleich zu Messdaten teilweise erhebliche Unsicherheiten auf. Im Rahmen dieses Beitrags zeigen wir an einem Beispiel, dass sich die Vorhersagequalität durch den gleichzeitigen Einsatz zweier verschiedener Prognosemodelle deutlich verbessern lässt.

## 1 Übersicht

### 1.1 Einleitung

In Ländern mit hohen Windenergieanteilen im elektrischen Versorgungsnetz wird eine „Windenergie-Wettervorhersage“ der zu erwartenden Leistungsabgabe weiter an Bedeutung gewinnen. Diese findet ihre Einsatzgebiete sowohl in den klassischen Bereichen der Laststeuerung und der Kraftwerkseinsatzplanung als auch zukünftig an einer möglichen grünen Strombörse. Der benötigte Vorhersagezeitbereich reicht von etwa 3 bis 48 Stunden.

Bei den heute zur Leistungsvorhersage eingesetzten Systemen wird die allgemeine Wettervorhersage der Wetterdienste für die Anwendung im Bereich der Windleistungsprognose verfeinert und angepasst. Diese ist aufgrund der allgemeinen Schwierigkeiten einer numerischen Wettervorhersage grundsätzlich fehlerbehaftet. Im Rahmen dieses Beitrags soll ein erster Ansatz untersucht werden, um diese Vorhersageunsicherheit durch den gleichzeitigen Einsatz zweier verschiedener Wettervorhersagemodelle zu verringern.

## 2 Stand der Windleistungsprognose

### 1.2 Das Modell

Die Windleistungsprognose beruht auf einer räumlichen Verfeinerung der Ergebnisse allgemeiner numerischer Wettervorhersagemodelle. Abbildung 1 zeigt das Schema einer solchen Verfeinerung: Ausgehend von der Windgeschwindigkeit der allgemeinen Wetterprognose wer-

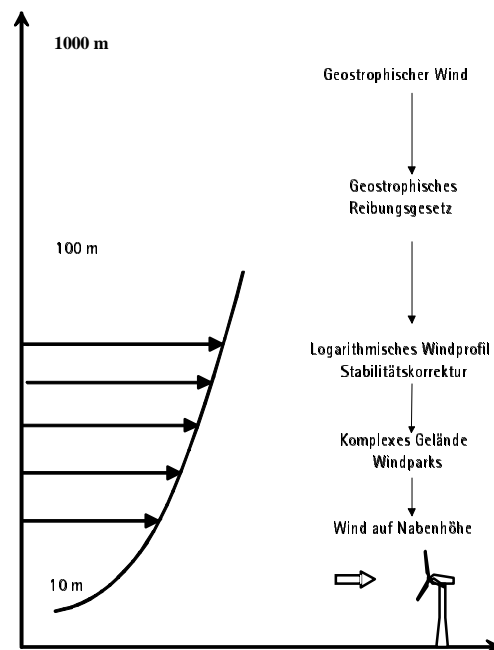


Abbildung 1: Prinzip der horizontalen Verfeinerung der allgemeinen Wettervorhersage zur Windleistungsprognose.

den Modelle zur Berücksichtigung der lokalen Rauigkeitsbedingungen, der thermischen Schichtung der Atmosphäre und der Orographie eingesetzt. Mit Hilfe der Leistungskennlinien und einer Beschreibung der Abschattungseffekte in Windparks erhält man eine lokale Windleistungsprognose.

Derartige Modelle wurden zuerst in Dänemark entwickelt und werden sowohl dort als auch in Deutschland mittlerweile operationell betrieben ([1], [2], [3],[4], siehe auch [5]).

Aufgrund der Unsicherheit der numerischen Wettervorhersage ist auch die Windleistungsprognose fehlerbehaftet. Typische Werte des mittleren quadratischen Fehlers (RMSE) im Vergleich zu Meßdaten sind in Tabelle 1 in Abhängigkeit der Vorhersagezeit zusammengestellt ([2]). Diese pauschale Unsicherheit ist mit ca. 40 % der mittleren Leistung relativ hoch. Insbesondere in Situationen mit hohen Windgeschwindigkeitsgradienten, beispielsweise bei durchziehenden Tiefdruckgebieten, differiert oft auch der zeitliche Verlauf der Vorhersage von dem der gemessenen Windleistung.

Tabelle 1 Mittlerer quadratischer Fehler der Windleistungsprognose (in % der mittleren Leistung) in Abhängigkeit der Vorhersagezeit.

Vorhersagezeit [h]	6	12	18	24	36	48
RMSE [% Pmess]	33.4	33.4	38.2	40.0	36.5	41.8

### 1.3 Verbesserungsansätze

Um die praktische Anwendbarkeit der Windleistungsprognose zu verbessern, kommen u.a. folgende Ansätze in Betracht:

- Mittels eines geeigneten Algorithmus könnte die momentane Unsicherheit der Vorhersage angegeben werden, so daß diese bei der Planung berücksichtigt werden kann.
- Hierzu ist insbesondere eine Einbeziehung der Charakterisierung der großräumigen Wetterlage nötig.
- Die Vorhersage läßt sich unter Umständen verbessern, indem zur Windleistungsprognose der Output von mehreren unabhängigen Wettervorhersagemodellen verwendet wird.

Im Rahmen dieser Arbeit soll ein erster Blick auf die Möglichkeiten des letzten Punktes geworfen werden. Um Einflüsse weiterer Unsicherheitsquellen wie Leistungskennlinien und Windparkeffekte auszuschließen, wurden für diese Untersuchung nur Windgeschwindigkeitsdaten und nicht die entsprechenden Leistungsabgaben herangezogen.

### 3 Deutsches und dänisches Modell

Im Rahmen eines EU-Projekts ([4]) wurden Vorhersagen auf Basis der Wetterprognosen des dänischen und des deutschen Wetterdienstes zur Windleistungsprognose eingesetzt. Tabelle 2 zeigt einen Vergleich der wichtigsten Basisdaten der entsprechenden Wettervorhersagemodelle.

Zur statistischen Analyse der Performance der beiden Modelle wurden Meßdaten der Windgeschwindigkeit auf 30 m Höhe für ein Jahr (1996) verwendet.

Tabelle 2 Basisdaten der beiden numerischen Wettervorhersagemodelle.

<b>Modell</b>	<b>HIRLAM</b>
<b>Betreiber</b>	Dän. met. Institut
<b>Horizontale Auflösung</b>	25 x 25 km <sup>2</sup>
<b>Gebiet</b>	DK und Norddeutschland
<b>Startzeiten</b>	0, 12 Uhr; zus. 6, 18 Uhr

<b>Modell</b>	<b>Deutschlandmodell</b>
<b>Betreiber</b>	Deutscher Wetterdienst
<b>Horizontale Auflösung</b>	15 x 15 km <sup>2</sup>
<b>Gebiet</b>	Deutschland
<b>Startzeiten</b>	0, 12 Uhr; zus. 6, 18 Uhr

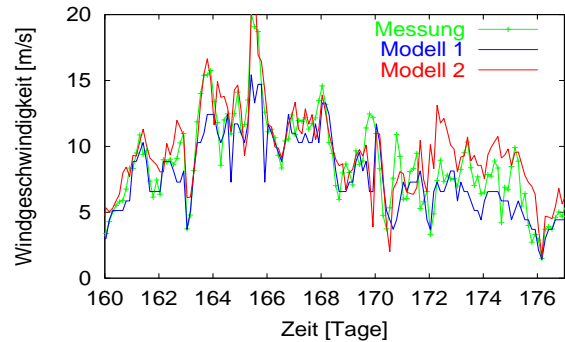


Abbildung 2 Typische Zeitreihe der Windgeschwindigkeit der beiden Vorhersagemodelle (3 bis 24-h-Vorhersage) und der Messung.

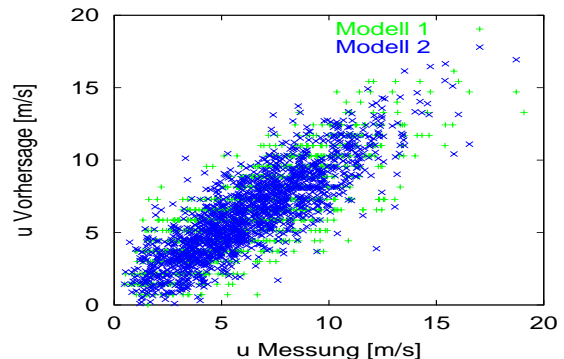


Abbildung 3 Scatterplot der beiden ursprünglichen Vorhersagemodelle Deutschlandmodell und HIRLAM jeweils im Vergleich zur Windgeschwindigkeitsmessung.

### 4 Kombination beider Modelle

Die Qualität der Vorhersage beider Modelle ist für verschiedene Standorte oft recht unterschiedlich. Für die folgende Untersuchung wurde ein exemplarischer Standort ausgewählt, für den beide Wettervorhersagemodelle gute Prognosen bereitstellten. Die untersuchte Datenbasis umfasst ein Jahr.

Abbildung 2 zeigt einen typischen Verlauf der

Prognosen (3-24-Stunden-Vorhersagewerte) und der Messung für einen Zeitausschnitt von ca. zwei Wochen. Die beiden Modelle unter- oder überschätzen den tatsächlichen Verlauf der Windgeschwindigkeit recht häufig.

Abbildung 3 zeigt einen entsprechenden Scatterplot für die Daten des gesamten Jahres 1996. Beide Modelle streuen recht gleichmäßig um die Winkelhalbierende. Der RMSE-Fehler (normiert auf die mittlere Windgeschwindigkeit) beträgt 28 % für Modell 1 und 26 % für Modell 2. Im folgenden soll nun untersucht werden, in wie weit sich die Prognoseunsicherheit durch die Kombination der beiden Vorhersagen verbessern lässt.

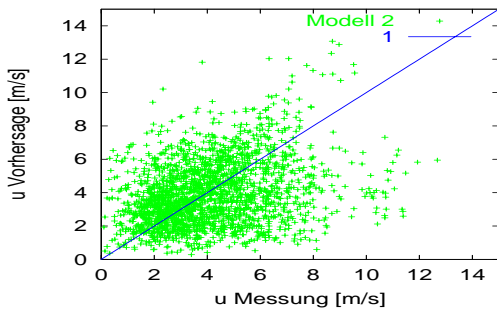


Abbildung 4 Scatter zwischen Vorhersage und Messung für eines der beiden Modelle für einen schlecht vorhergesagten Standort.

Es sei bereits hier darauf hingewiesen, daß nicht alle Standorte eine so gute Korrelation zwischen Prognose und Messungen aufweisen. Ein entsprechendes Beispiel zeigt Abbildung 4. Die Streuung ist erheblich, der RMSE beträgt 55 %. Hier läßt sich auch durch die Verwendung der Ergebnisse beider Vorhersagemodelle prinzipiell keine Verbesserung der Prognose erzielen.

Als einfachstes Modell, daß beide Vorhersagen einbezieht, wurde im folgenden das arithmetische Mittel beider vorhergesagten Geschwindigkeiten gewählt:

$$\text{Kombinierte Vorhersage} = (\text{Modell1} + \text{Modell2}) / 2$$

Den Verlauf der kombinierten Vorhersage im Vergleich zur Messung zeigt Abbildung 5 für den gleichen Zeitbereich wie in Abbildung 2. Es ist zu erkennen, dass die Abweichungen zwischen Vorhersage und Messungen deutlich abnehmen. Das spiegelt sich auch im RMSE (22 %) wieder, der kleiner als die entsprechenden Werte der einzelnen Vorhersagemodelle ist (Abbildung 6).

### 5 Modelldifferenzen und Unsicherheit

Wie bereits erwähnt, weist die Prognose in Abhängigkeit der Wettersituation verschiedene Unsicherheiten auf. Anhand der vorhandenen Daten sollte folgende Hypothese geprüft werden:

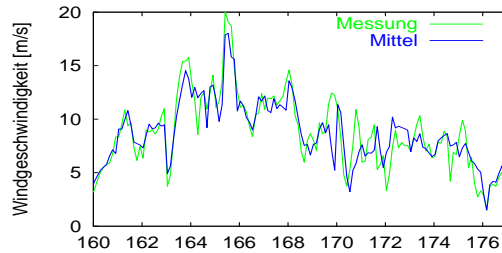


Abbildung 5 Zeitreihe der Vorhersage des neuen, kombinierten Modells im Vergleich zur Messung.

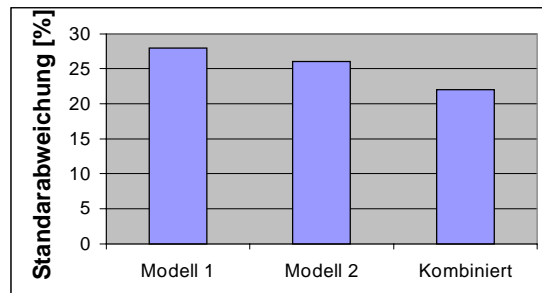


Abbildung 6 Vergleich der RMSE der beiden originalen und des neuen Modells („kombiniert“).

Wenn die aktuelle Wettersituation schwierig vorherzusagen ist, ist es relativ wahrscheinlich, daß die beiden Prognosemodelle verschiedene Aussagen machen. Kann man deshalb aus dem Unterschied der beiden Vorhersagen eine Aussage über die entsprechende Abweichung zwischen Messungen und Vorhersagewert gewinnen?

Um diese These zu untersuchen, zeigt Abbildung 7 einen Scatterplot der Unterschiede der beiden Vorhersagen gegen die Differenz des Modells 1 gegenüber der Messung. In der entstehenden Punktwolke sind keine deutlichen Strukturen zu erkennen. Der oben vermutete systematische Zusammenhang scheint also nicht zu existieren.

### 6 Fazit

Systeme zur Windleistungsprognose arbeiten heute operationell, die Prognosen weisen aber teilweise noch erhebliche Unsicherheiten auf. Durch die Kombination der Ergebnisse zweier numerischer Wettervorhersagemodelle lässt sich die Vorhersageunsicherheit im Vergleich zum Einzelmodell prinzipiell deutlich verringern. Zur Absicherung dieses Ergebnisses ist eine Untersuchung für weitere Standorte nötig.

7 Literatur

[1] Lars Landberg: *Predicting the power output from wind farms*. Proceedings of the EWEC 1997, Dublin

[2] Ulrich Focken, Matthias Lange, Kai Mönnich, Hans-Peter Waldl, Hans Georg Beyer, Armin Luig: *Räumliche Ausgleichseffekte bei der Vorhersage der Leistungsabgabe von Windkraftanlagen*. DEWEK 2000, Wilhelmshaven.

[3] Gregor Giebel et al: *The Zephyr Project- a new Phase in Short-term Prediction*. DEWEK 2000, Wilhelmshaven.

[4] Lars Landberg, Hans-Peter Waldl, Gregor Giebel, Ulrich Focken, Matthias Lange, Kai Mönnich, Hans Georg Beyer, Armin Lueg, Jess. Joergensen: *Short-term Prediction of Regional Wind Power Production*. Final Report EU-Project JOR3-CT97-0272 PL971254.

[5] [www.physik.uni-oldenburg.de/ehf/wind](http://www.physik.uni-oldenburg.de/ehf/wind), 2000.

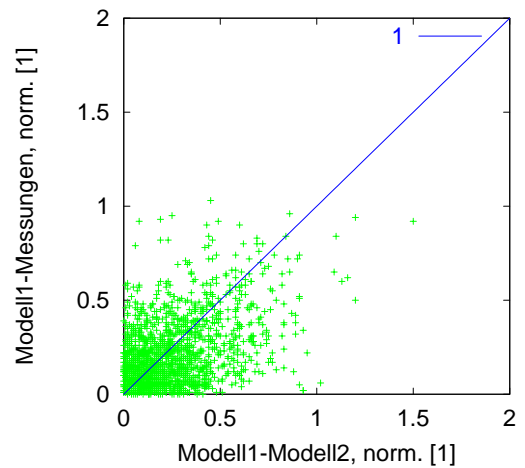


Abbildung 7 Scatter der Differenz der beiden Vorhersagemodelle gegenüber der Differenz eines der beiden Modelle zu den Messdaten.