

---

# **Quantitative Angaben zur Fluktuation des Winddargebots in Deutschland**

**Bernhard Ernst**

**Institut für Solare Energieversorgungstechnik e. V.**



## Übersicht

---

- **Presse**
- **Online Erfassung**
- **Fluktuationen**
  - Minuten...
  - ...Monate
- **Prognosefehler**
- **Ausblick und Fazit**

---

FAZ, 2.9.2003, S.1:

...Das war etwa im Frühjahr des vergangenen Jahres in **Schleswig-Holstein** der Fall, als **innerhalb von Minuten** die Leistung aller 2300 in diesem Bundesland installierten Windräder mit einer Leistung von zusammen **3300 Megawatt** fast vollständig wegbrach. Die Windgeschwindigkeit war über die für die Stabilität der Anlagen kritischen 25 Meter je Sekunde gestiegen. Daraufhin drehten die Windräder aus dem Wind und stellten ihren Betrieb ein...

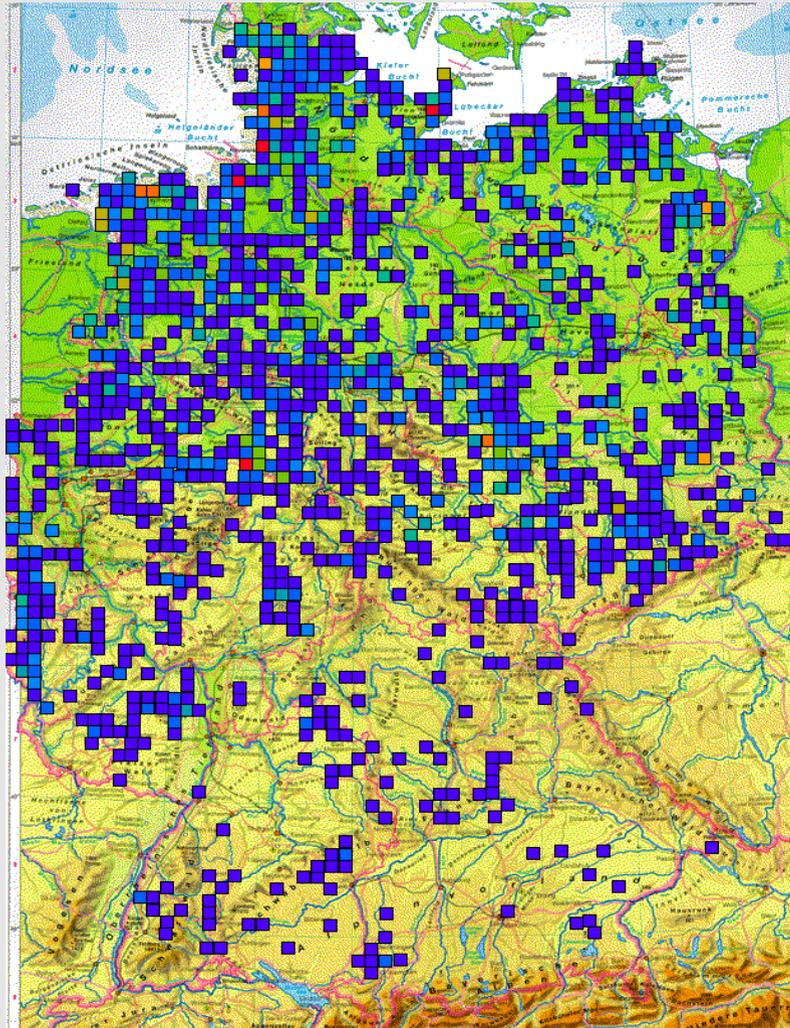


---

FT, 23.9.2003:

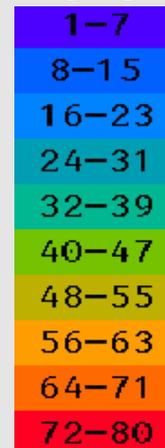
...Stimmt die Vorhersage, kann der Einsatz anderer Kraftwerke rechtzeitig geplant werden. Liegt die Prognose daneben, müssen die Ausfälle **innerhalb von Sekunden** ausgeglichen werden...

## Online-Erfassung der Windleistung



**Berechnungsalgorithmus  
basiert auf der  
Einteilung des Gebiets  
In Planflächen**

**Installierte  
Leistung  
[MW]**



## Online-Erfassung der Windleistung



**Online-Erfassung  
der Leistung von  
repräsentativen  
Windparks an  
Umspannwerken**

**E.ON Netz:**

**16 repräsentative Messungen  
425 MW gemessene Leistung**

**In Zukunft:**

**60 repräsentative Messungen  
1500 MW gemessene Leistung**

## Online-Erfassung der Windleistung



**Berechnung der aktuellen Windeinspeisung jeder einzelnen Planfläche über die gemessene Leistung aller repräsentativen Windparks**

**Berücksichtigte Parameter:**

- Entfernung
- Geländerauhigkeit
- Anlagenregelung

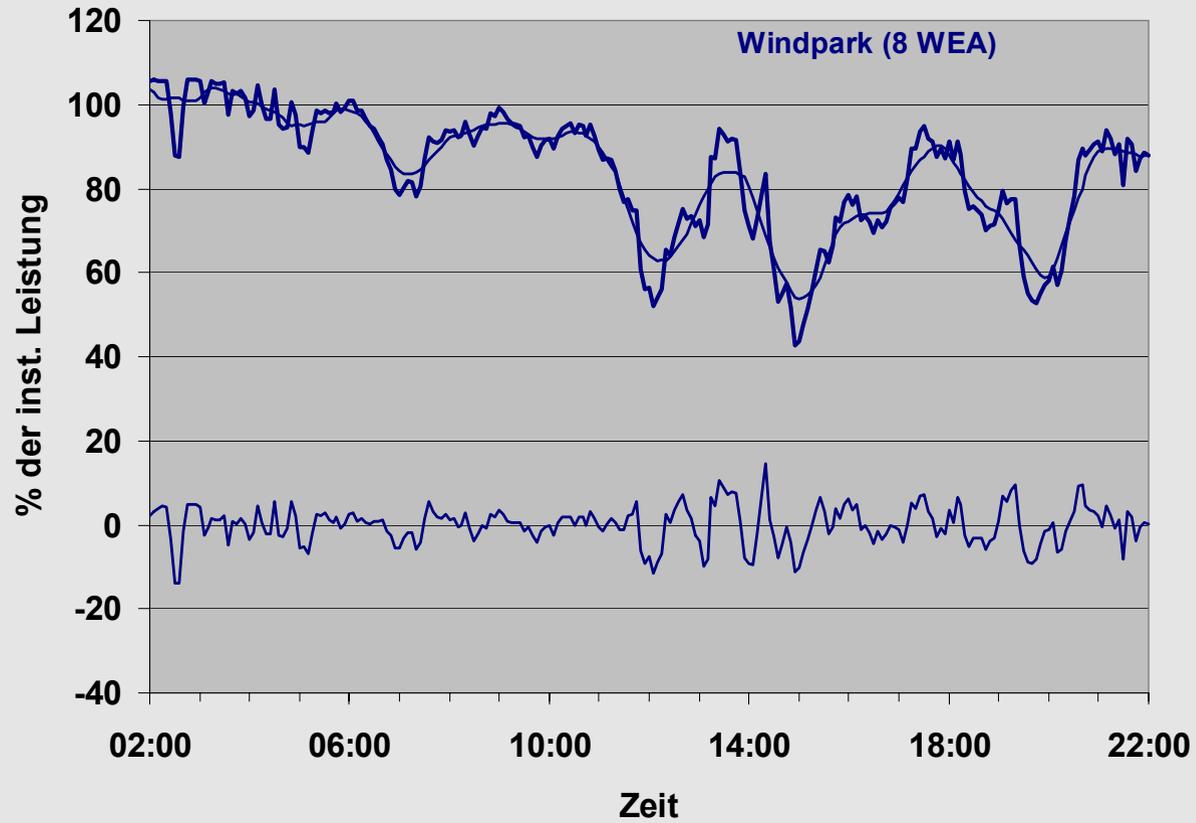
WMEP

---

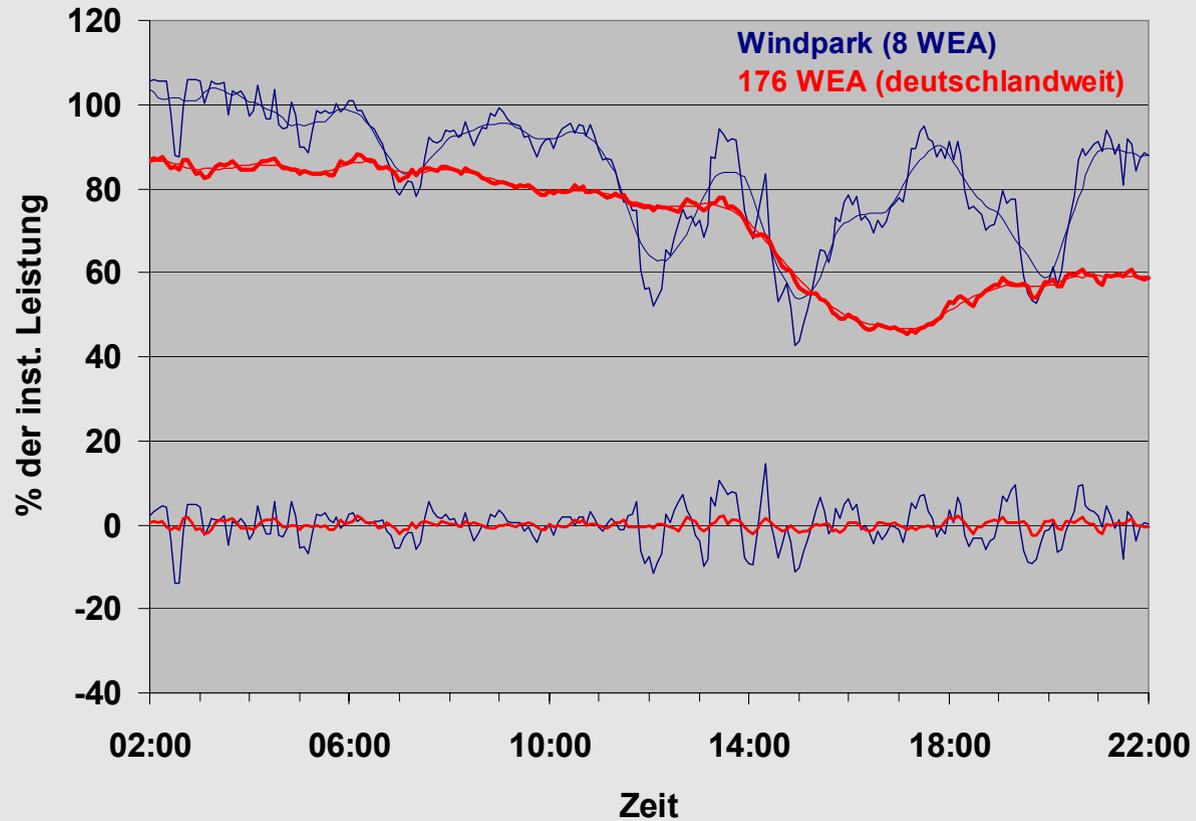
## WMEP

- **Wind und Leistungsmessung an 220 WEA (5-min Mittel)**
- **Energielieferungs- und Wartungsberichte von 1500 WEA**

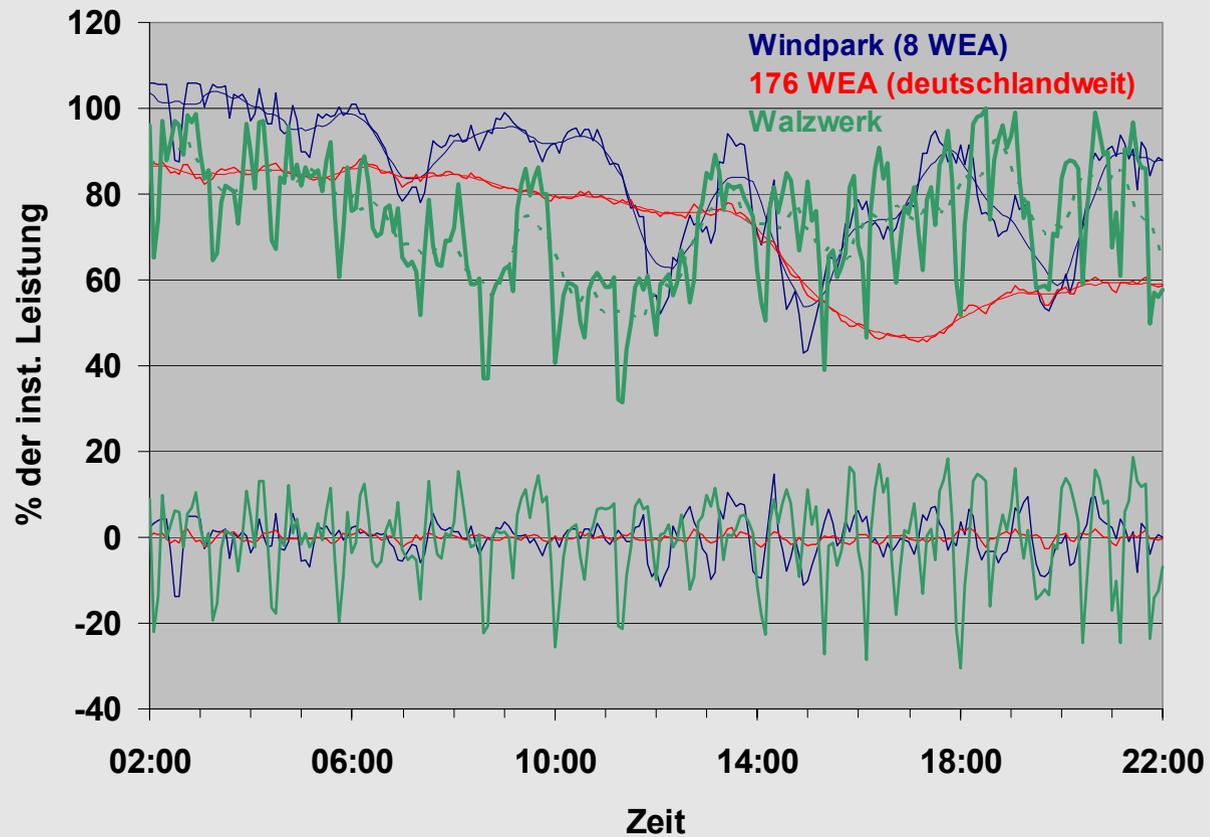
## Fluktuationen



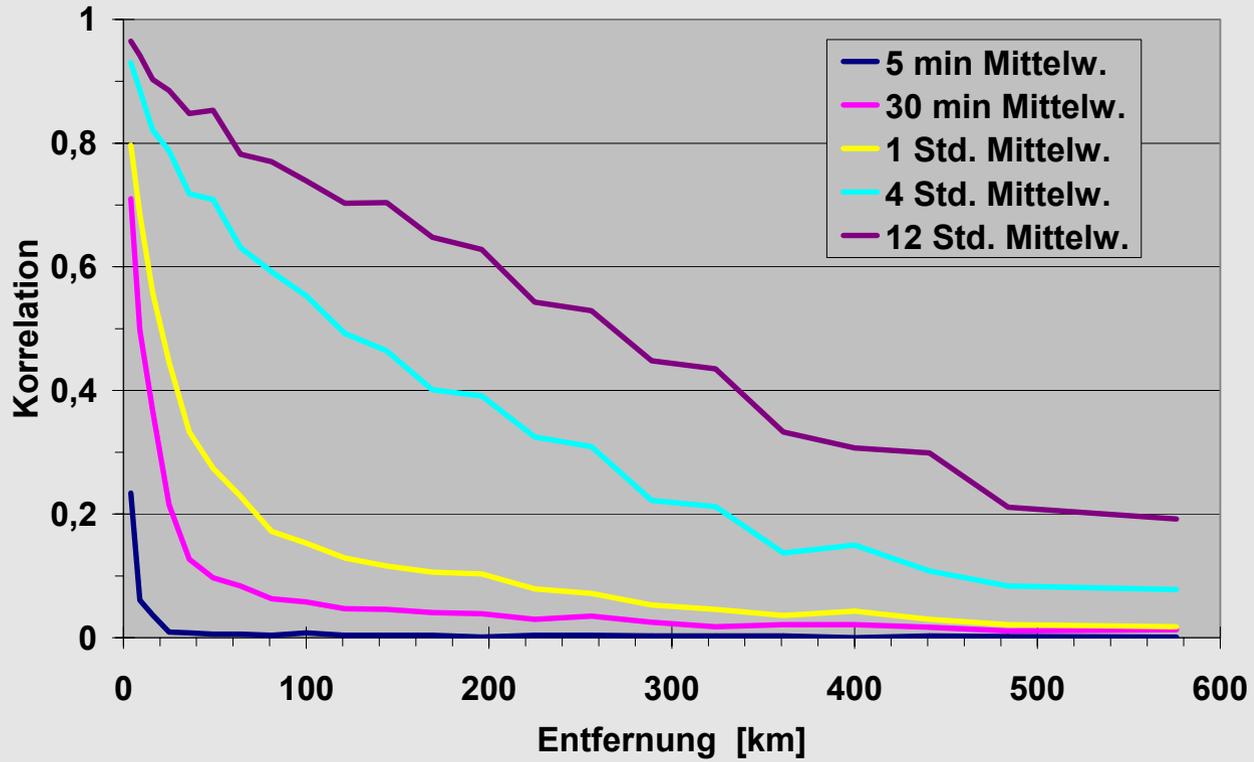
## Fluktuationen



## Fluktuationen



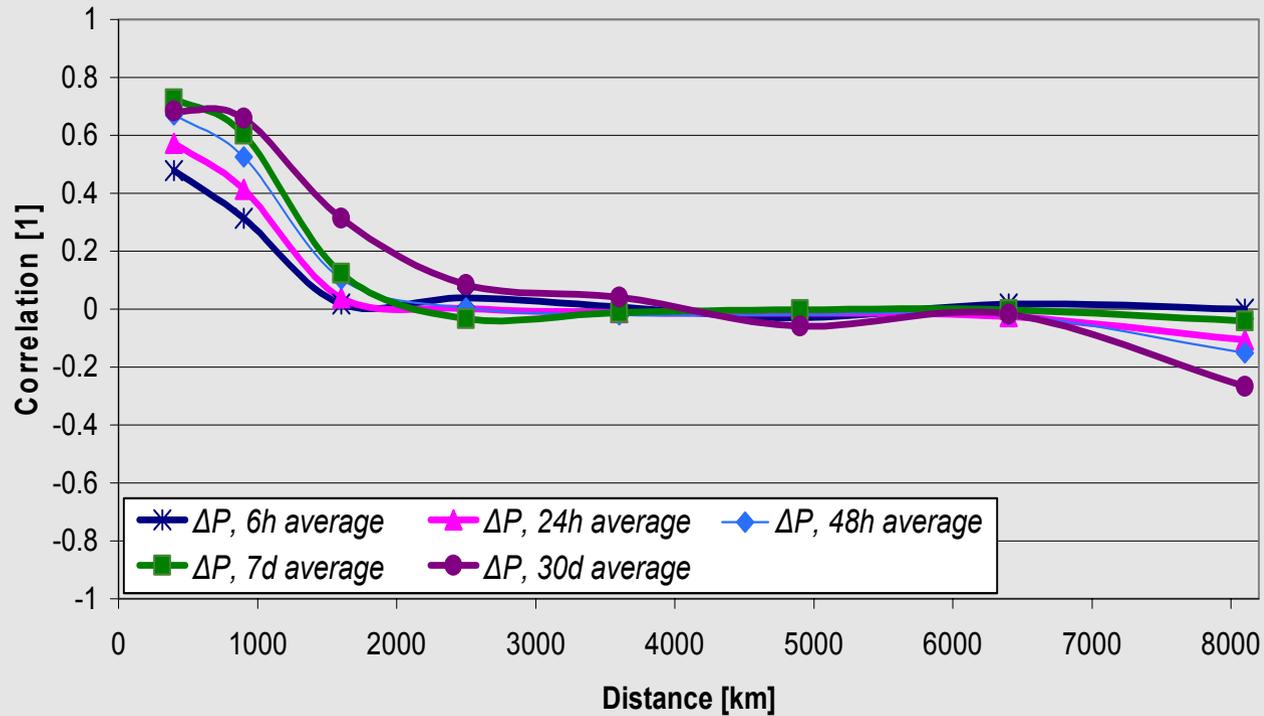
# Fluktuationen



Korrelation der Leistungsänderungen



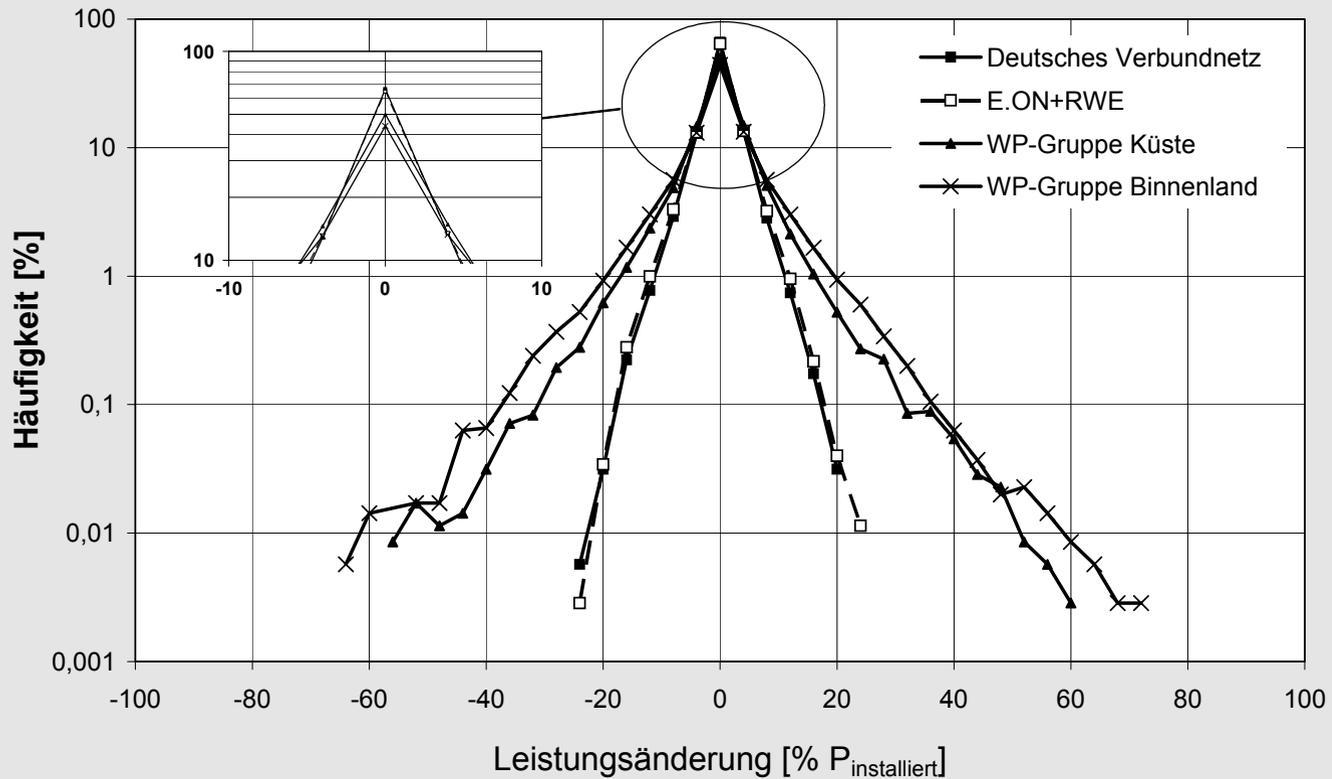
# Fluktuationen



Korrelation der Leistungsänderungen

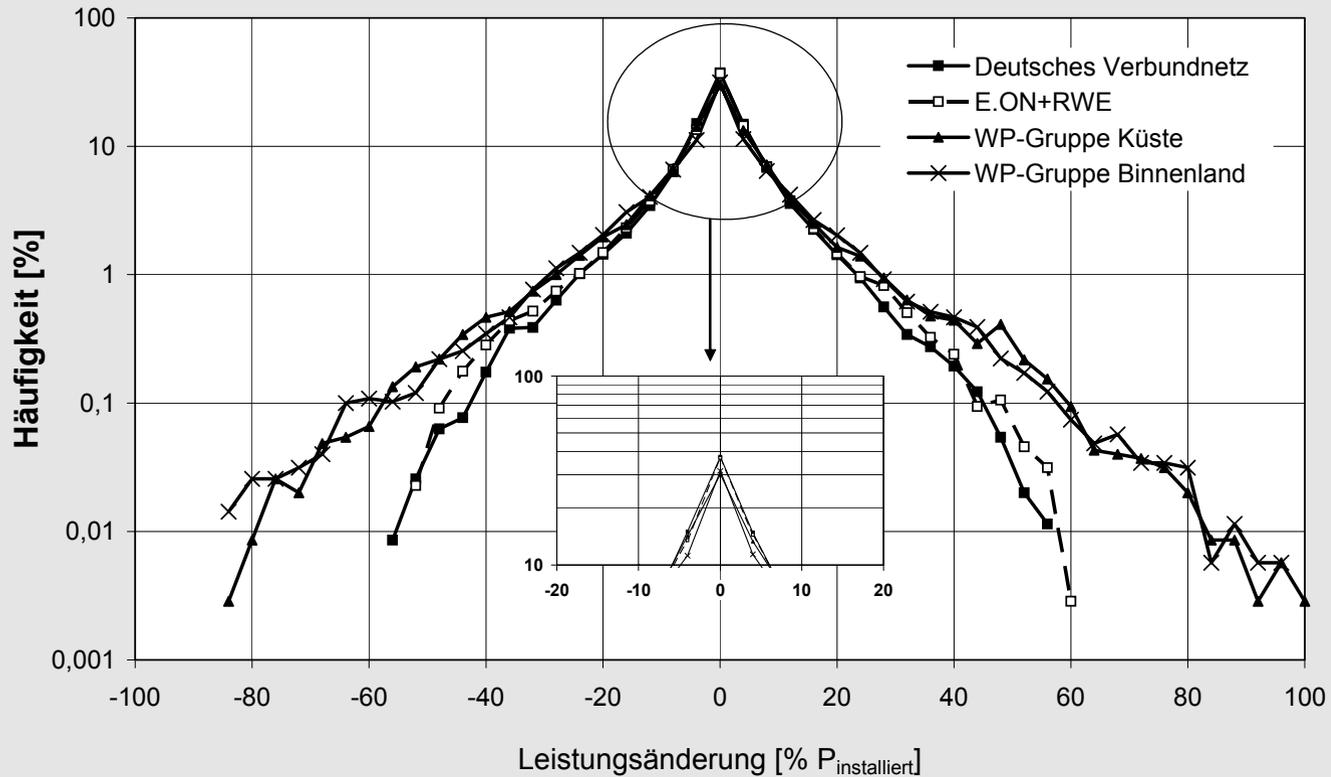


# Fluktuationen



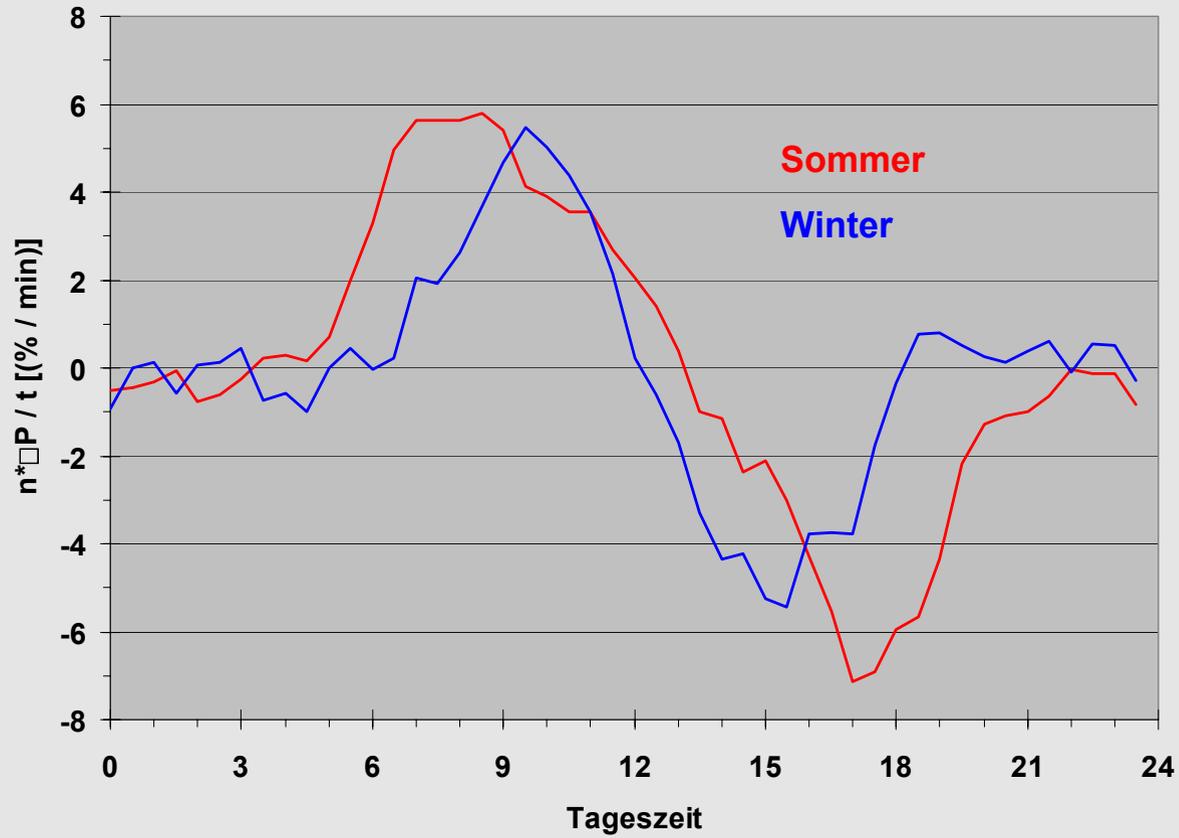
Häufigkeit von Leistungsänderungen im 1 Stunden-Raster

# Fluktuationen

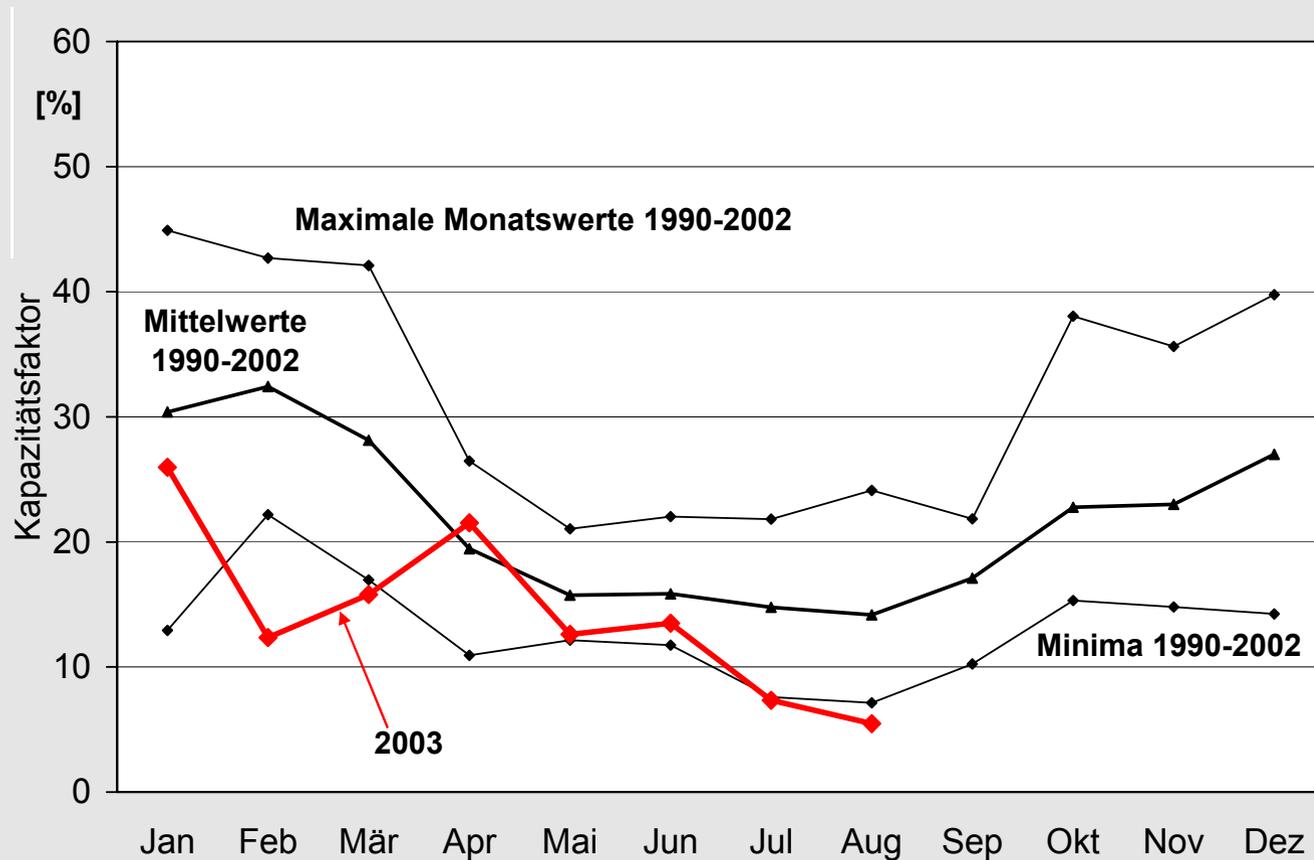


Häufigkeit von Leistungsänderungen im 4 Stunden-Raster

# Fluktuationen

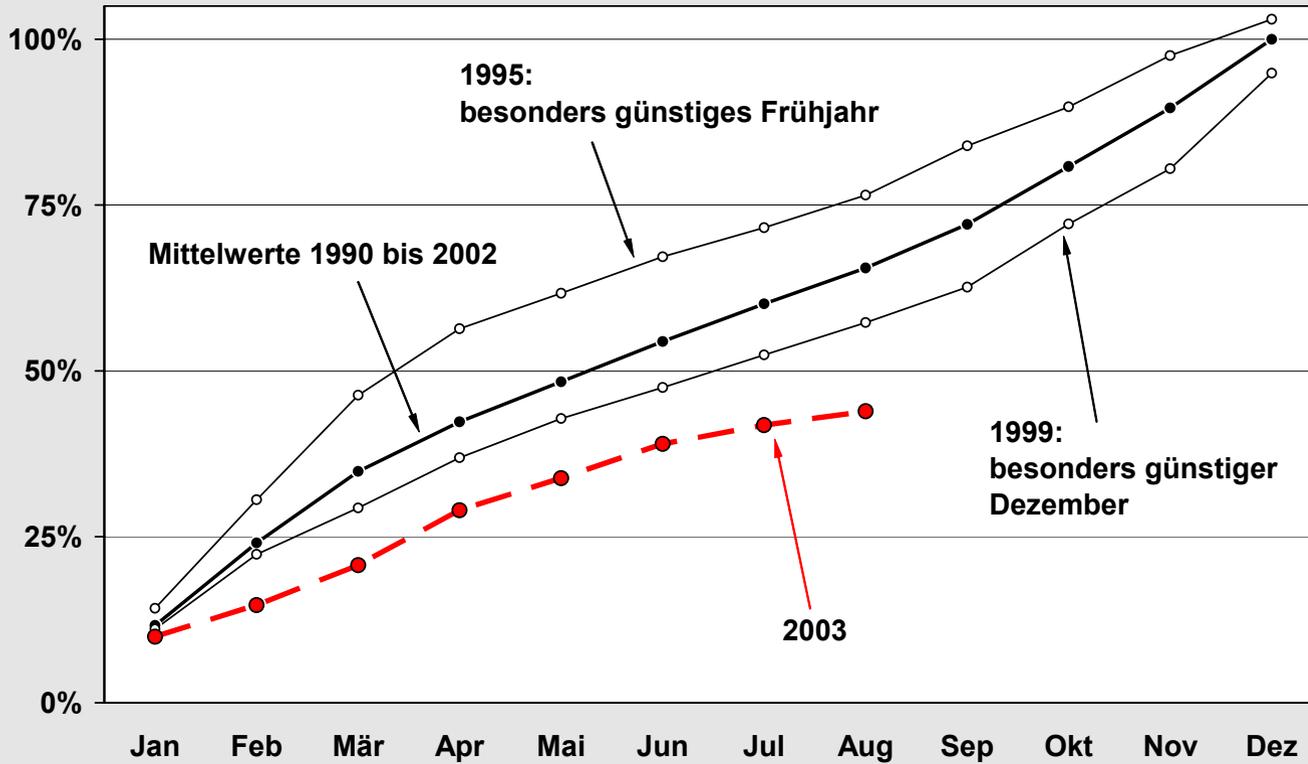


## Fluktuationen



Mittlerer monatlicher Ausnutzungsgrad der WEA im WMEP

# Fluktuationen



Entwicklung des Jahresenergieertrages



## Prognosefehler

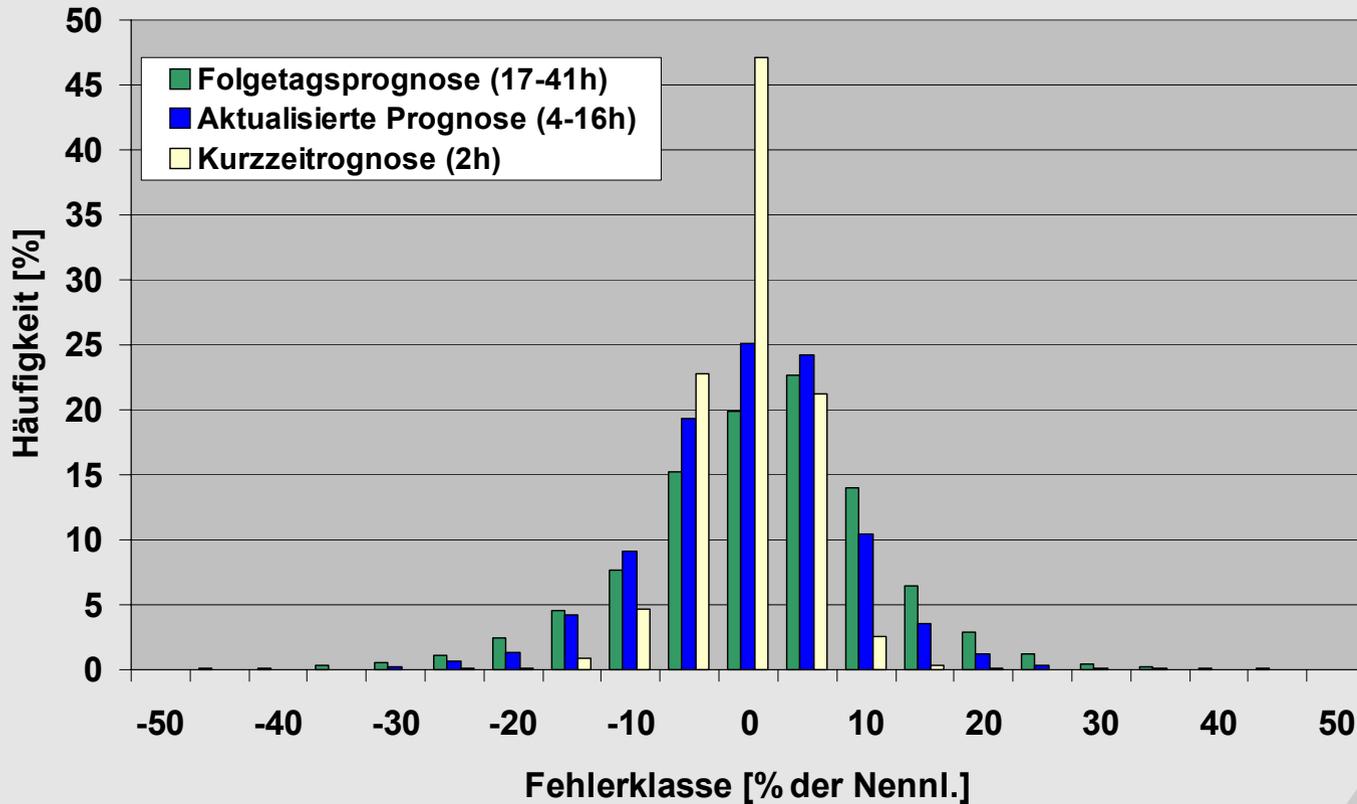
---

<b>Prognose- horizont [Tage]</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>Klima</b>
<b>RMSE [m/s]</b>	<b>1,63</b>	<b>1,92</b>	<b>2,03</b>	<b>2,18</b>	<b>2,33</b>	<b>2,41</b>	<b>2,55</b>	<b>2,3</b>

**Prognosegenauigkeit der Windgeschwindigkeit**



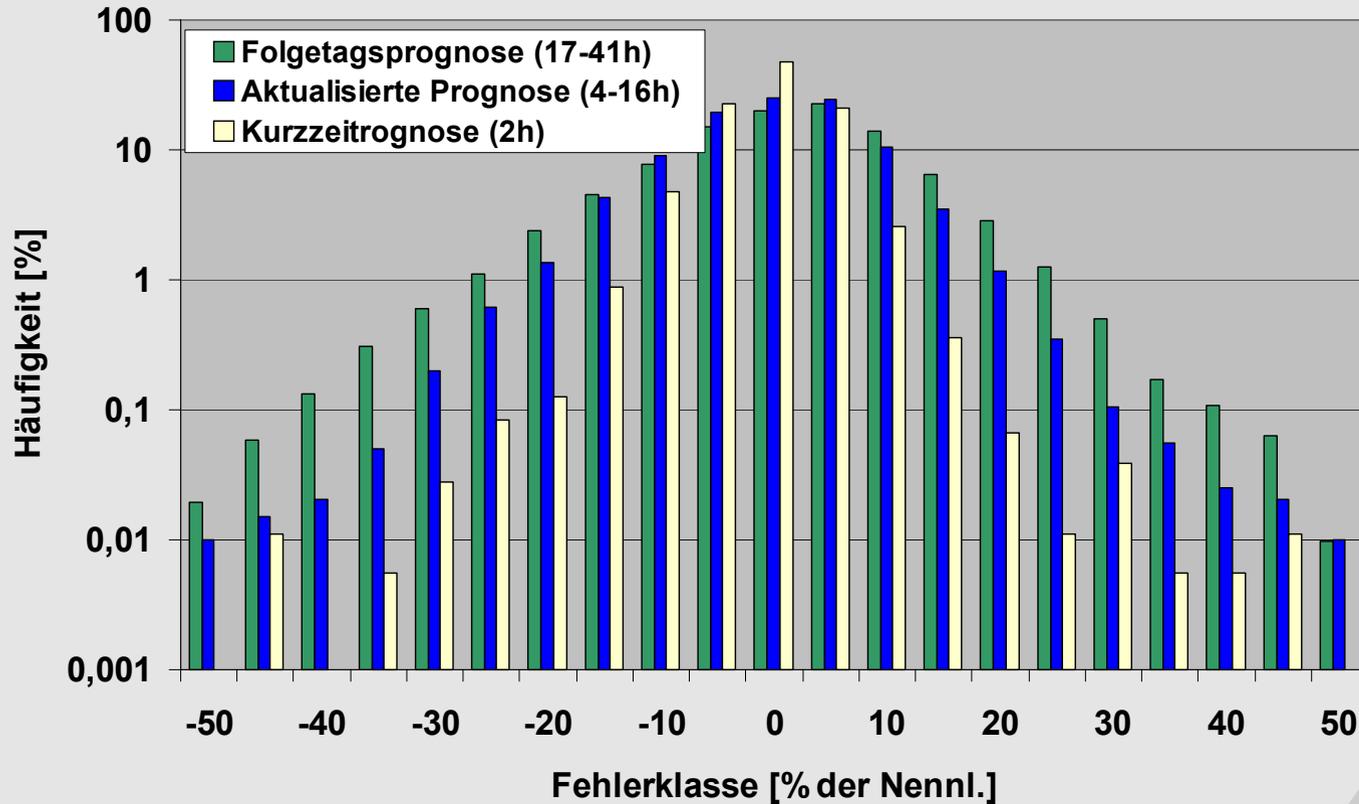
# Prognosefehler



Verteilung des Prognosefehlers im E.ON-Gebiet



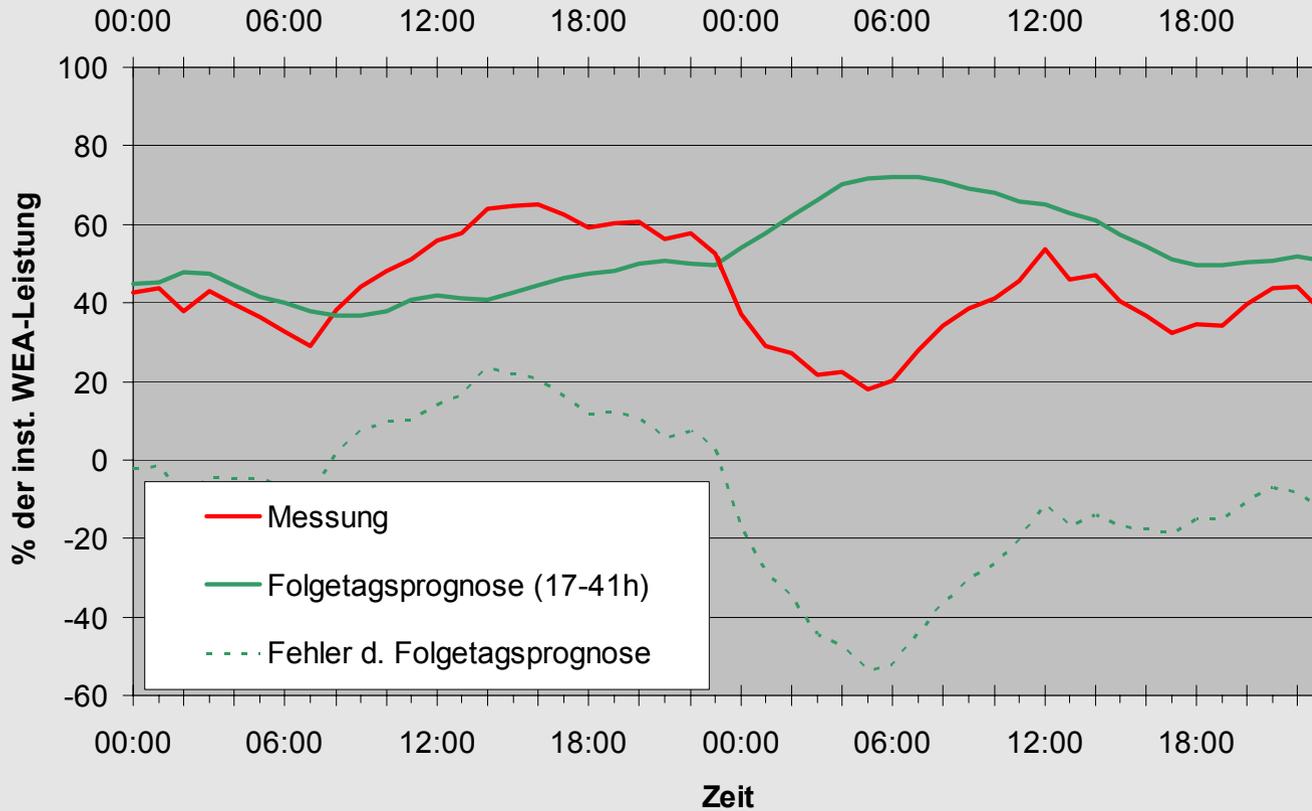
# Prognosefehler



Verteilung des Prognosefehlers im E.ON-Gebiet

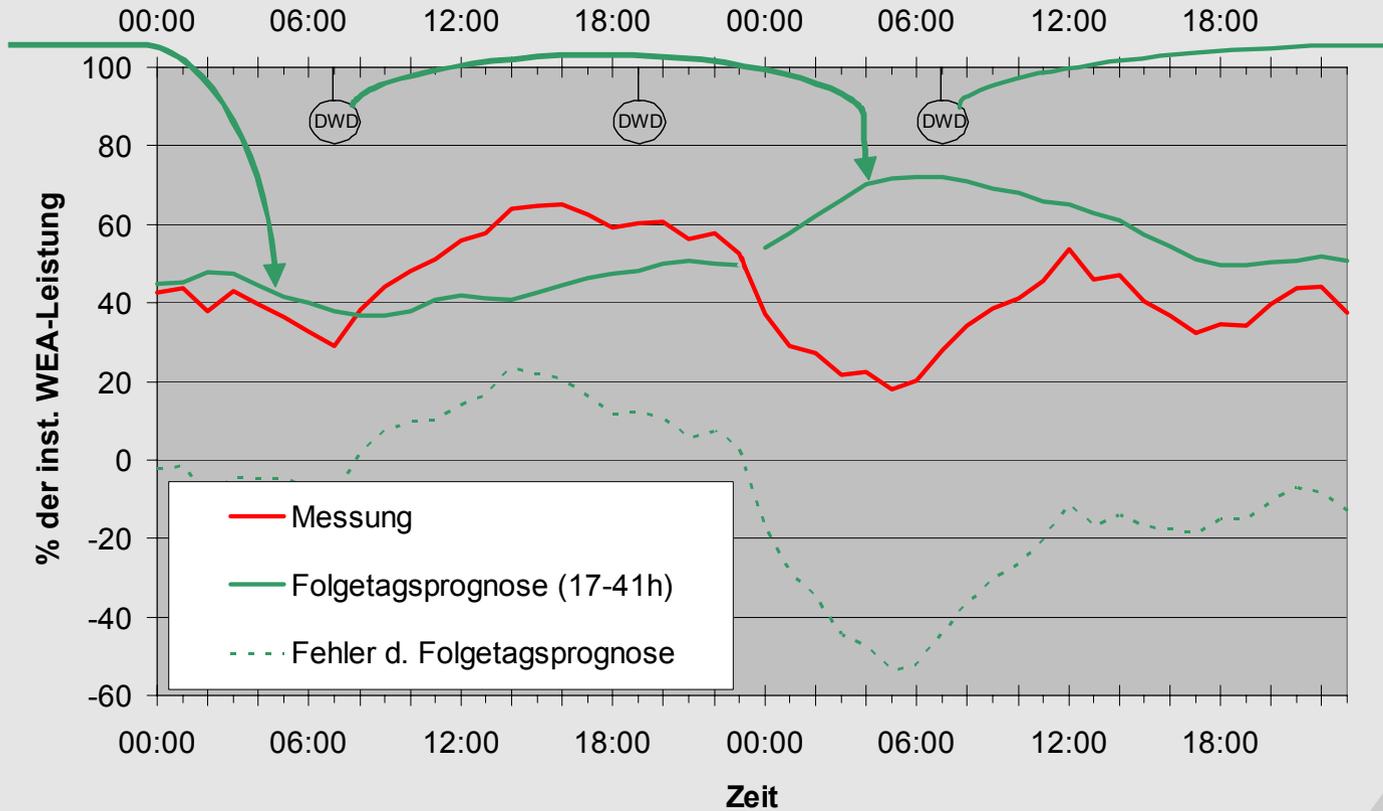


## Prognosefehler



**Größter Fehler der Folgetagsprognose**

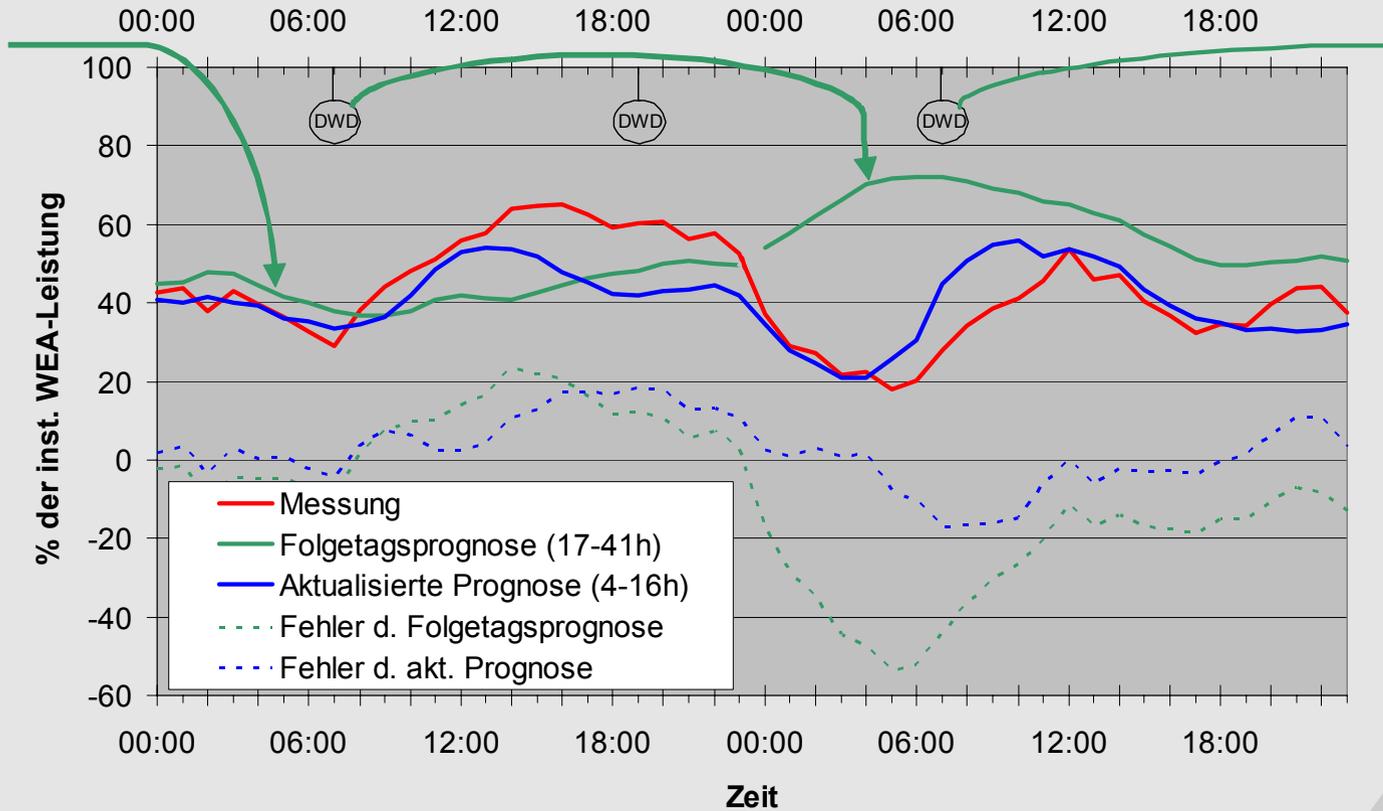
# Prognosefehler



Größter Fehler der Folgetagsprognose



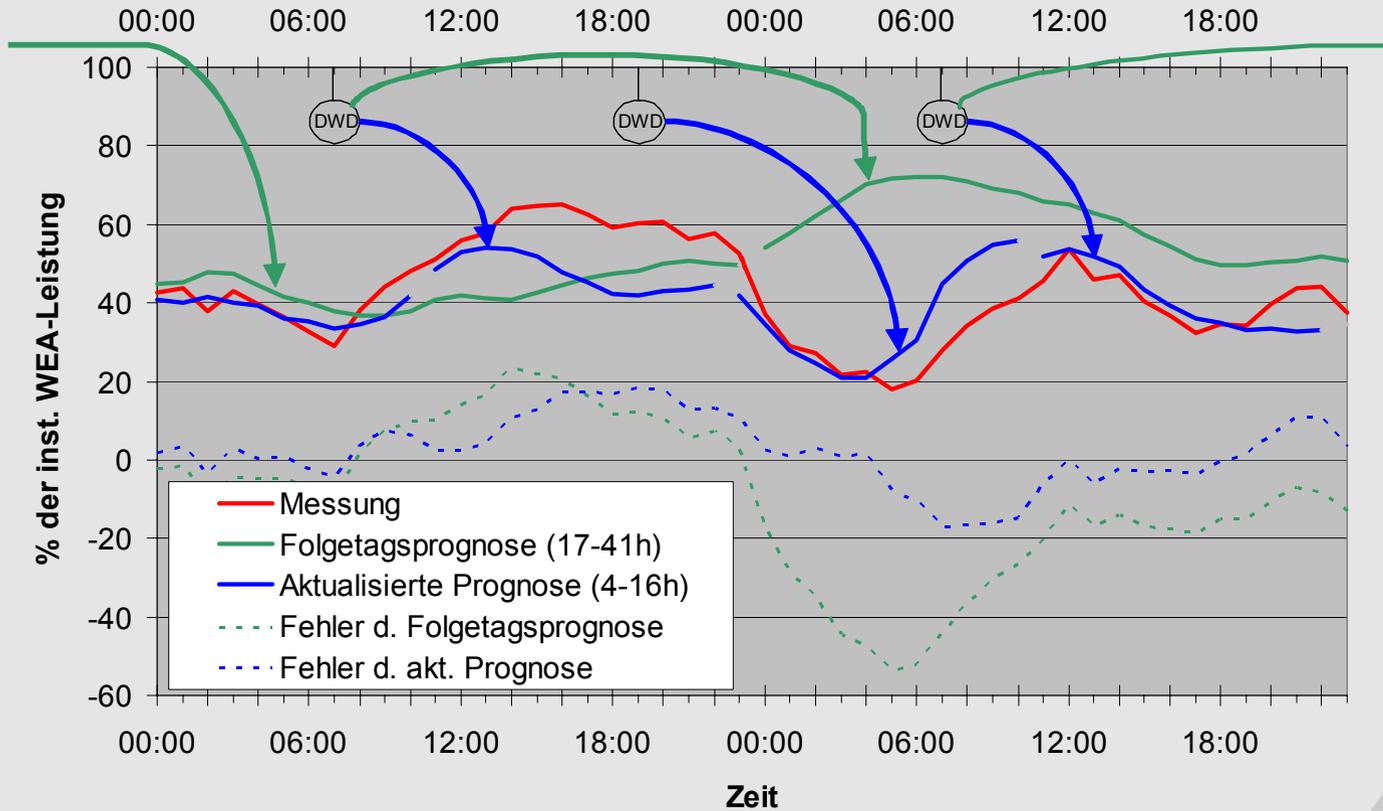
# Prognosefehler



**Größter Fehler der Folgetagsprognose**



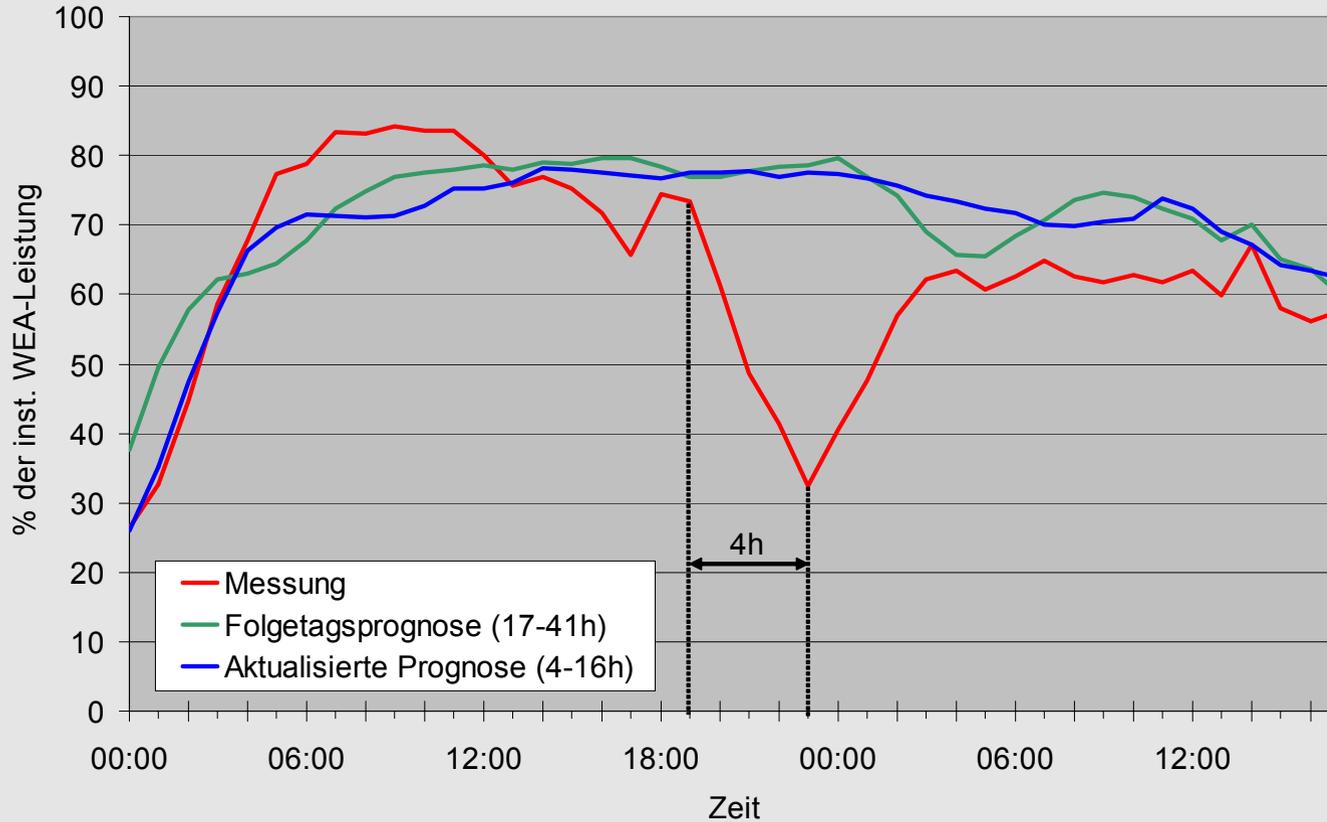
# Prognosefehler



**Größter Fehler der Folgetagsprognose**



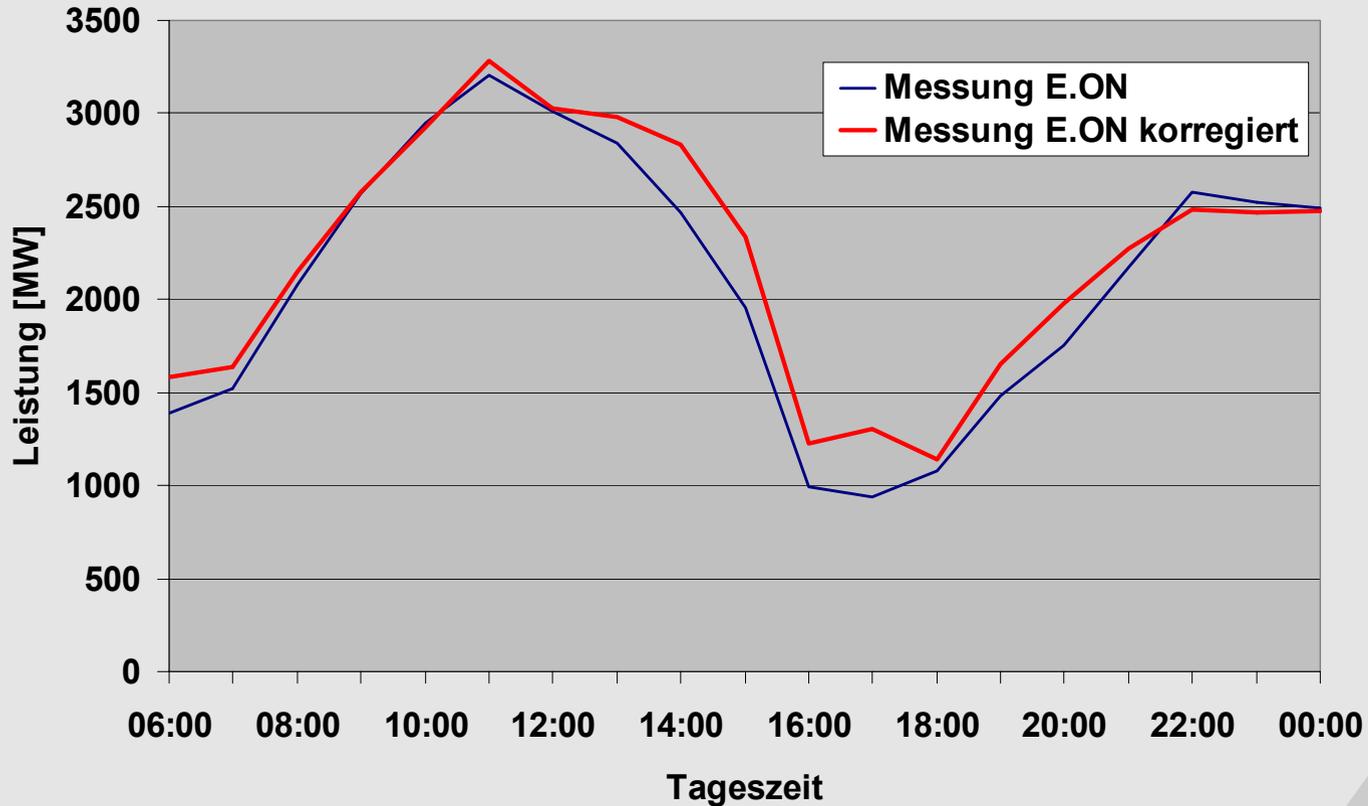
# Prognosefehler



**Prognosefehler durch Sturmabschaltung**



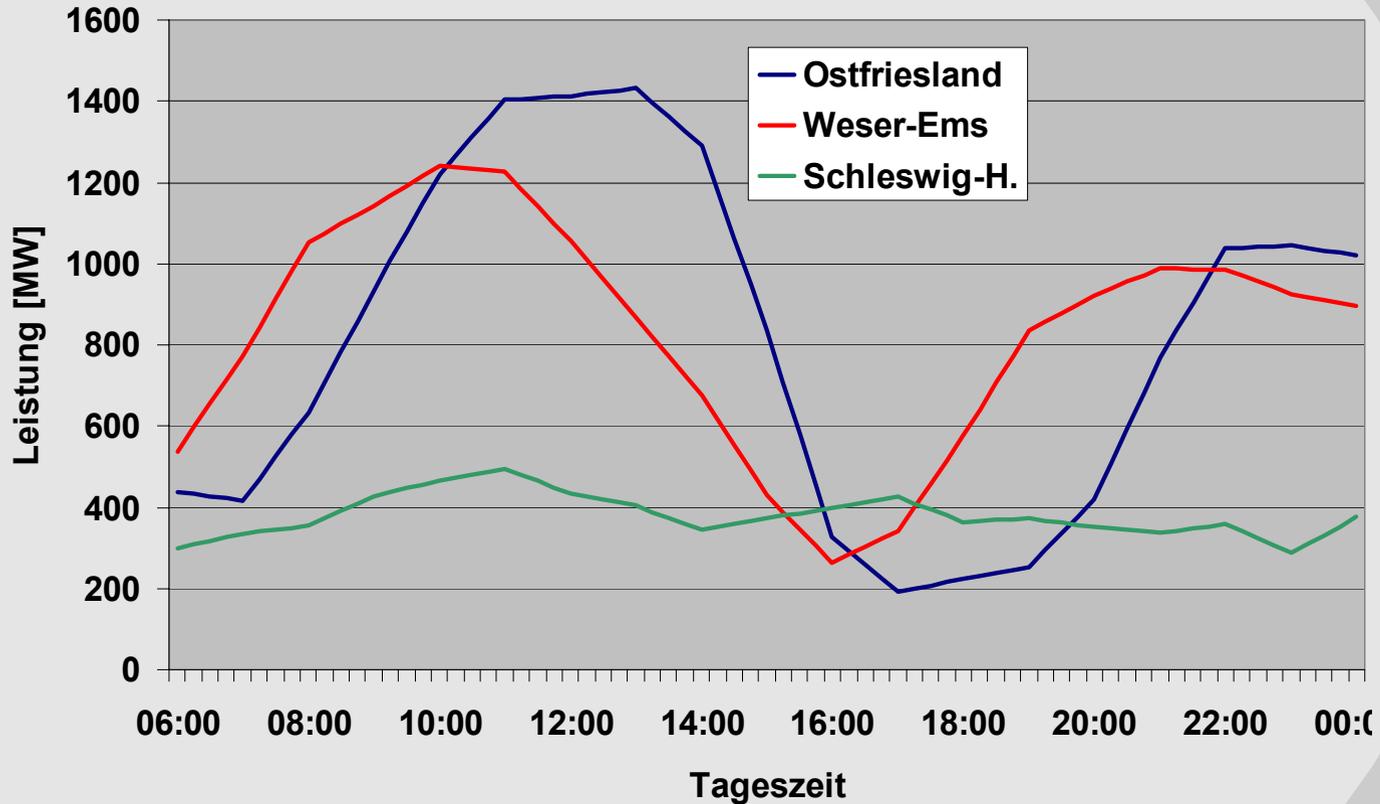
## Sturmabschaltung



Summenleistung der Windstromeinspeisung im Gebiet der E.ON-Netz am 26.2.2002

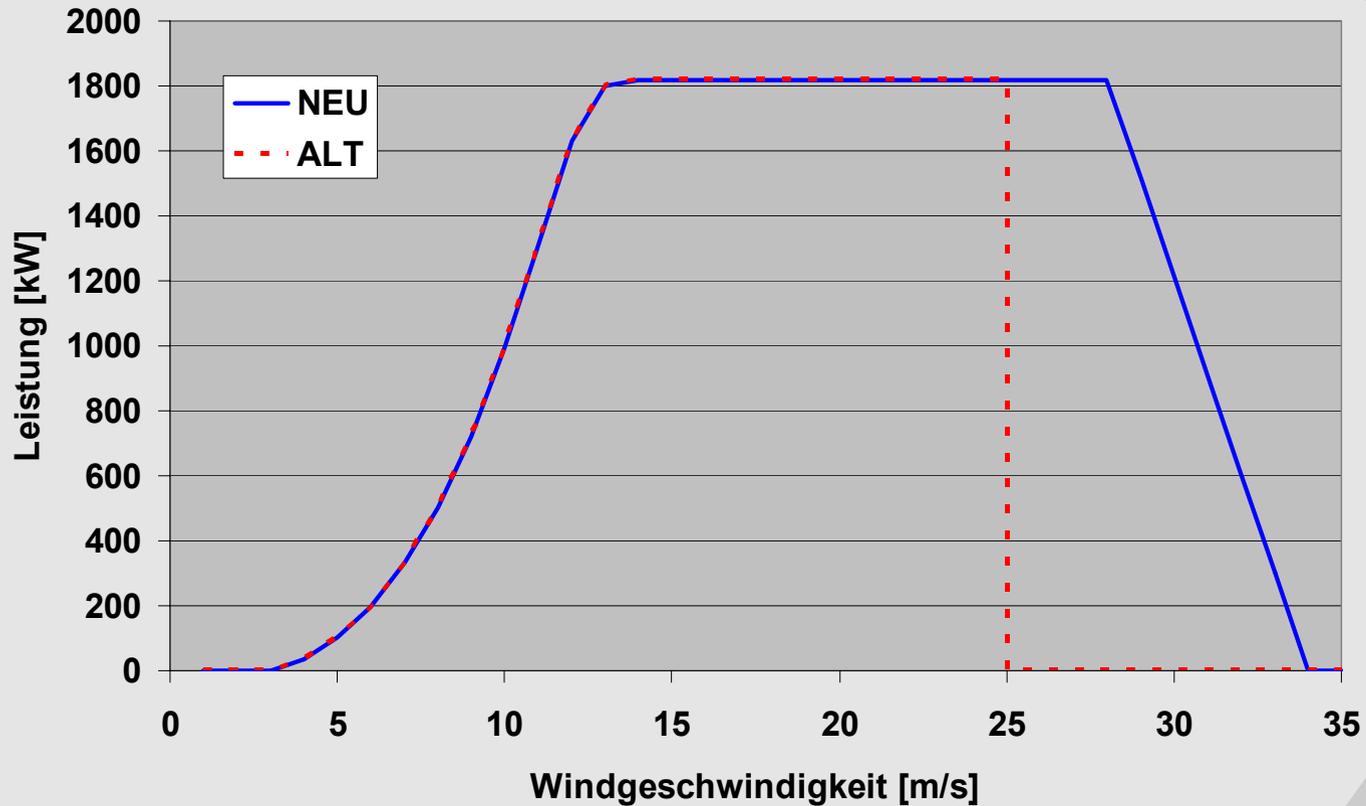


## Sturmabschaltung



Einspeiseleistung der WEA einzelner Teilgebiete der  
E.ON-Netz am 26.2.2002

## Ausblick



Leistungskennlinie einer E66 / 70

## Ausblick

---

### **Eingangsdaten**

- **Verbesserung der numerischen Wettermodelle**
- **Kurzzeitprognose, 8 mal täglich**
- **Angabe der Zuverlässigkeit**

### **Ausgleicheffekte**

**Einzelner Windpark**

**E.ON Gebiet**

**Deutschland gesamt**

**Europa**

### **Prognosefehler**

**10 - 20 %**

**8,5 %**

**?**

**?**

## Ausblick

---

### **Beispiel Dänemark (Risø, VTT):**

**Prognosefehler in West und Ost zu 35% der Zeit in unterschiedlicher Richtung**

#### **Prognosefehler 2001**

<b>West</b>	<b>1,28 TWh</b>
<b>Ost</b>	<b>0,33 TWh</b>
<b><math>\Sigma</math></b>	<b>1,61 TWh</b>
<b>Kombiniert</b>	<b>1,47 TWh</b>

**Reduktion um 9% (14% bei gleicher inst. Leistung in beiden Gebieten)**

## Fazit

- Saisonale Unterschiede bis zu 40 %-Punkte
- Fluktuationen im Minutenbereich unproblematisch
- Größte Leistungsänderung 20 % in einer Stunde
- Gradienten auch bei Sturmabschaltung beherrschbar
- Große Prognosefehler bei Sturm, aber mit „Vorwarnung“
- Prognosefehler treten langsam auf
- Ausgleichseffekte vorhanden → Netzausbau