

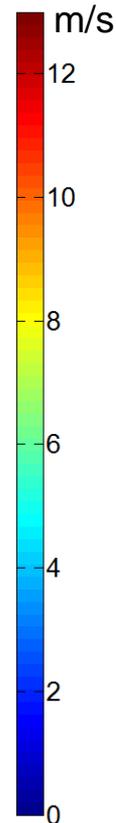
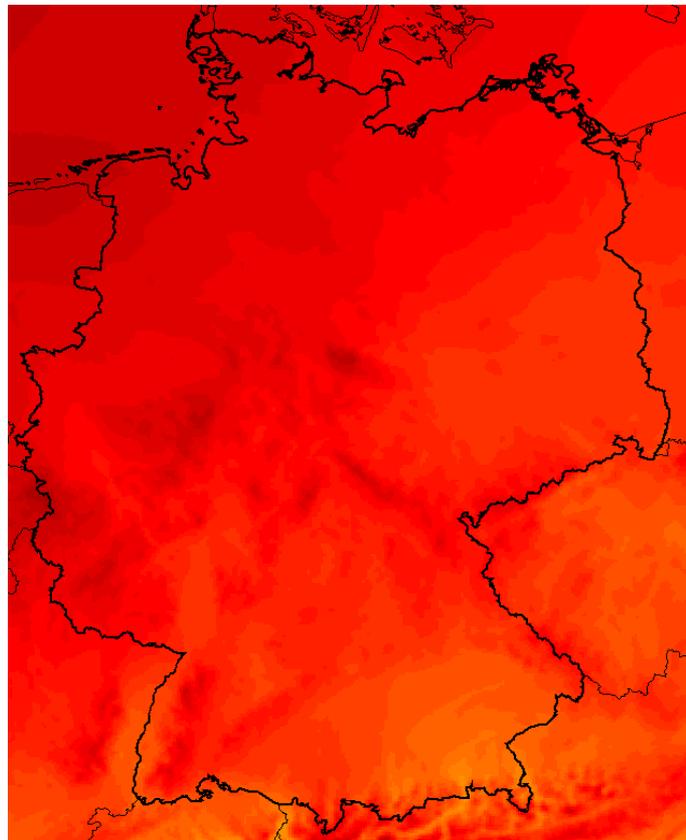
Entwicklung der Windenergie in Deutschland

Eine Beschreibung von aktuellen und zukünftigen Trends und Charakteristika der Einspeisung von Windenergieanlagen

DR. CARSTEN PAPE

BERLIN 05.07.2013

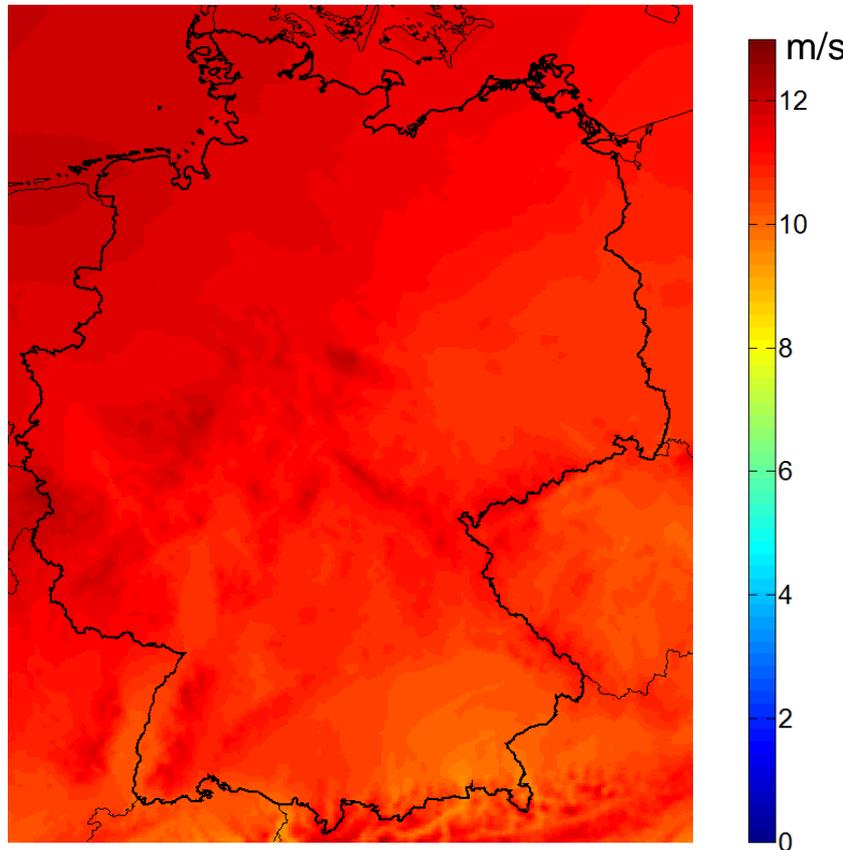
Windgeschwindigkeiten in Deutschland bei großräumiger Betrachtung



- COSMO-DE-Modell des Deutschen Wetterdienstes
- Maschenweite: 2,8 km
- Mittlere Windgeschwindigkeit der Jahre 2007 bis 2012

Quelle: Fraunhofer IWES auf Basis von Daten des Deutschen Wetterdienstes;

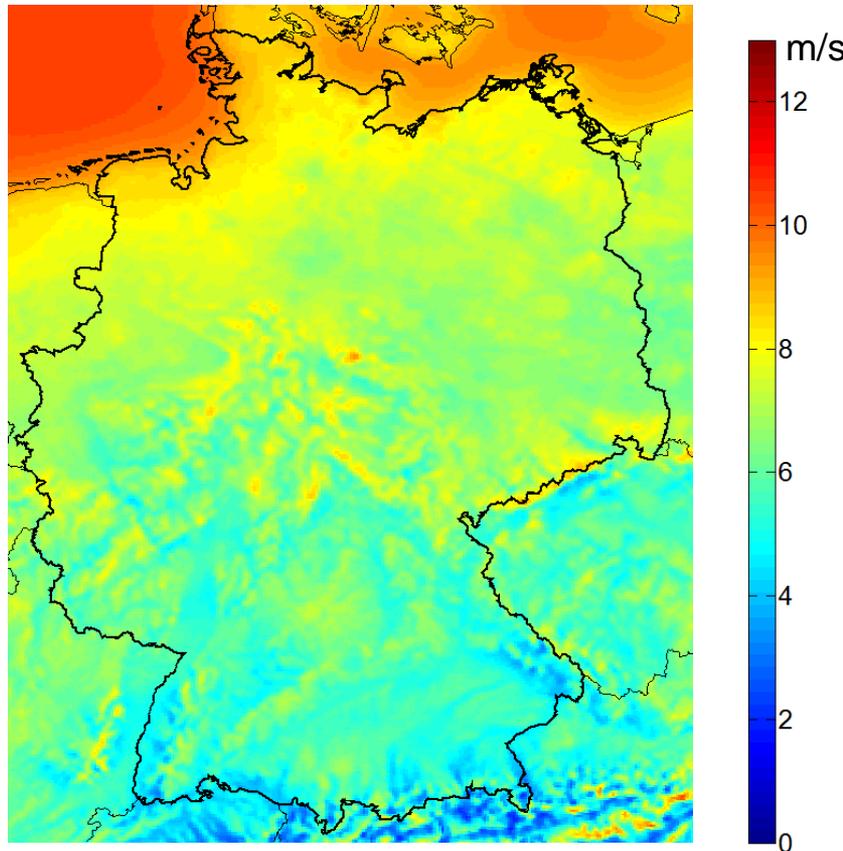
Windgeschwindigkeiten in Deutschland bei großräumiger Betrachtung



- COSMO-DE-Modell des Deutschen Wetterdienstes
- Maschenweite: 2,8 km
- Mittlere Windgeschwindigkeit der Jahre 2007 bis 2012
- ...in ca. 2500 m Höhe

Fraunhofer IWES auf Basis von Daten des Deutschen Wetterdienstes;

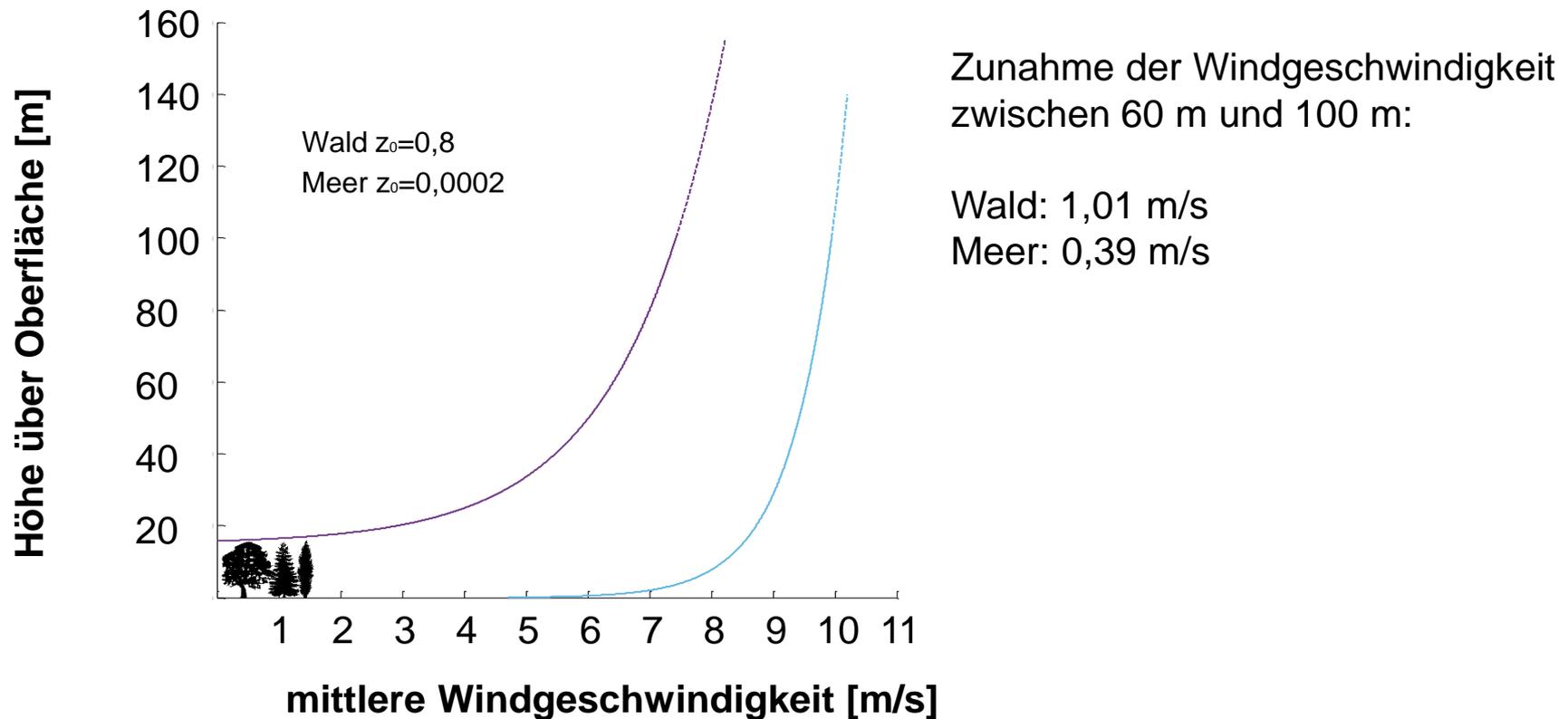
Windgeschwindigkeiten in Deutschland bei großräumiger Betrachtung



- COSMO-DE-Modell des Deutschen Wetterdienstes
- Maschenweite: 2,8 km
- Mittlere Windgeschwindigkeit der Jahre 2007 bis 2012
- ...in 122 m Höhe

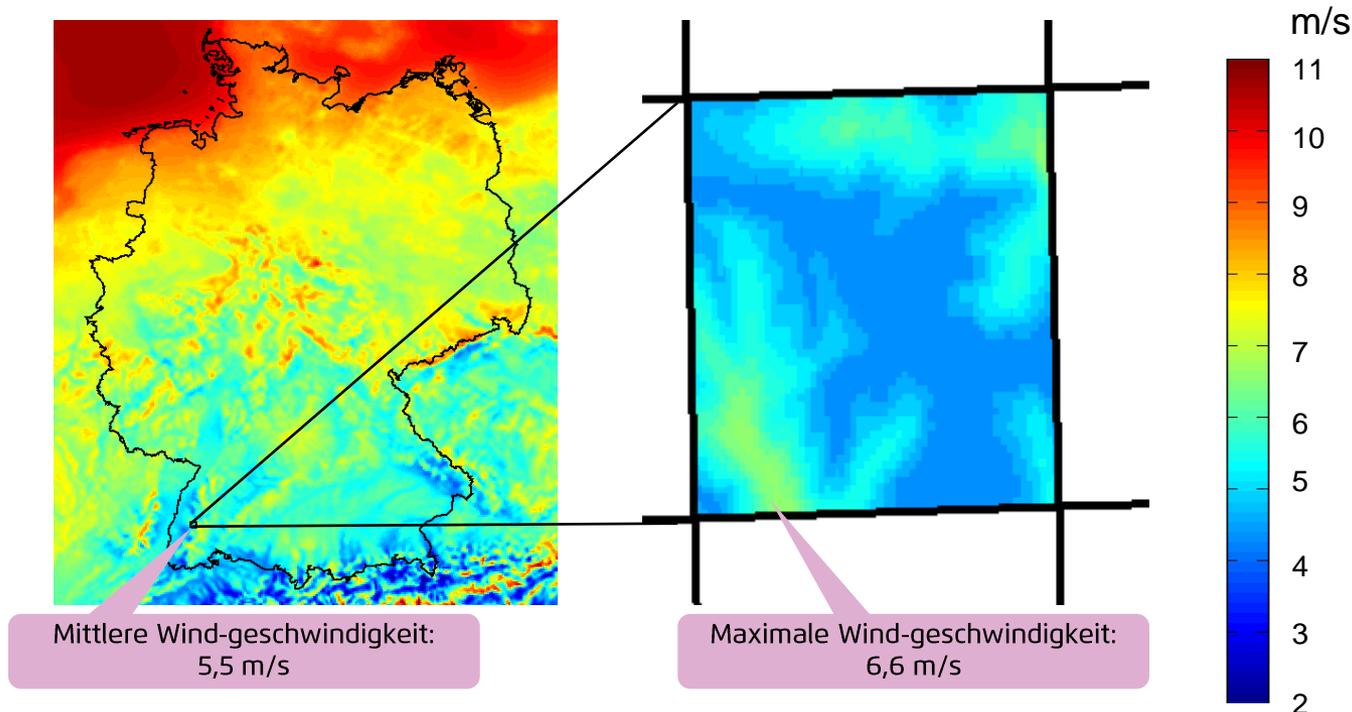
Fraunhofer IWES auf Basis von Daten des Deutschen Wetterdienstes;

Windgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Höhe an Standorten mit unterschiedlicher Oberflächenbeschaffenheit



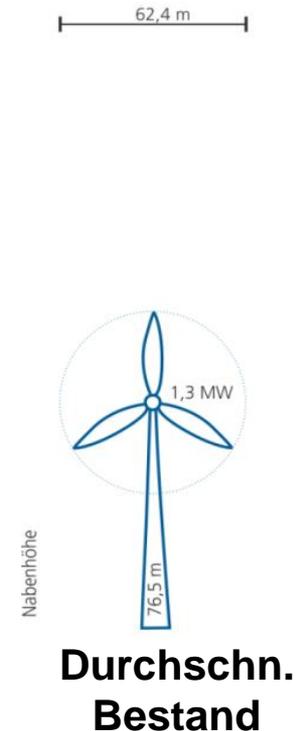
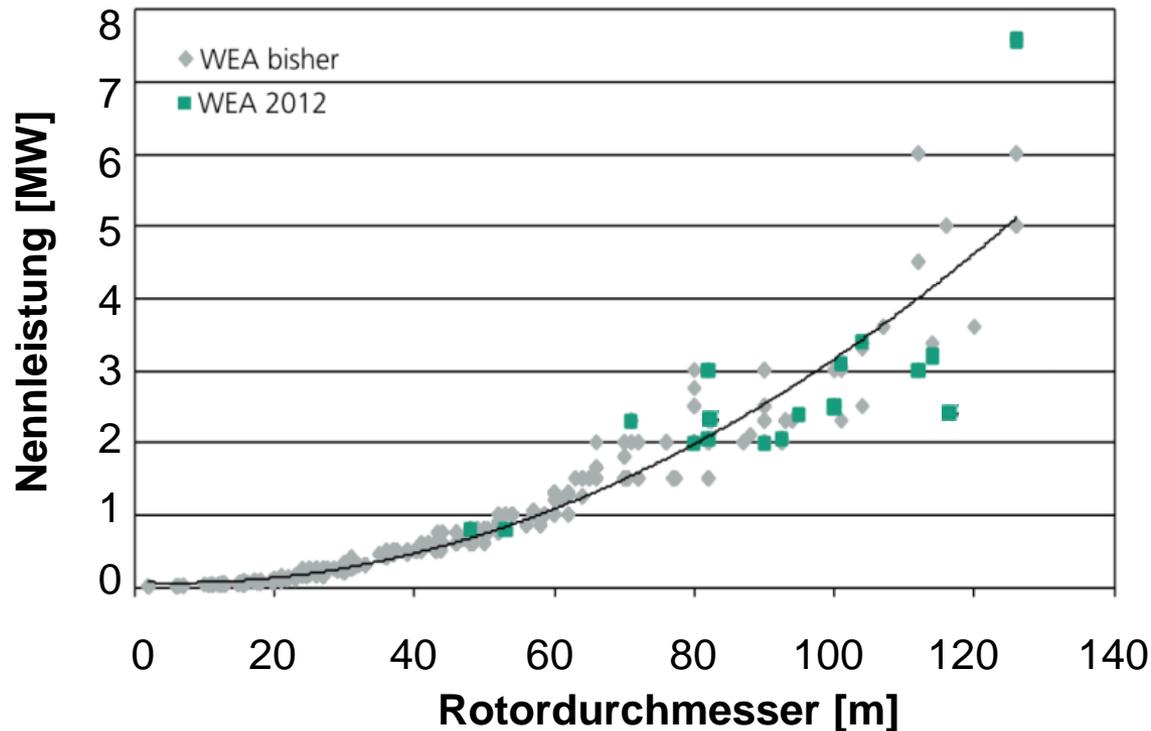
Fraunhofer IWES, Annahme Windgeschwindigkeit 12 m/s in der freien Atmosphäre (1.500 m)

Windgeschwindigkeiten in Deutschland bei großräumiger und kleinräumiger Betrachtung



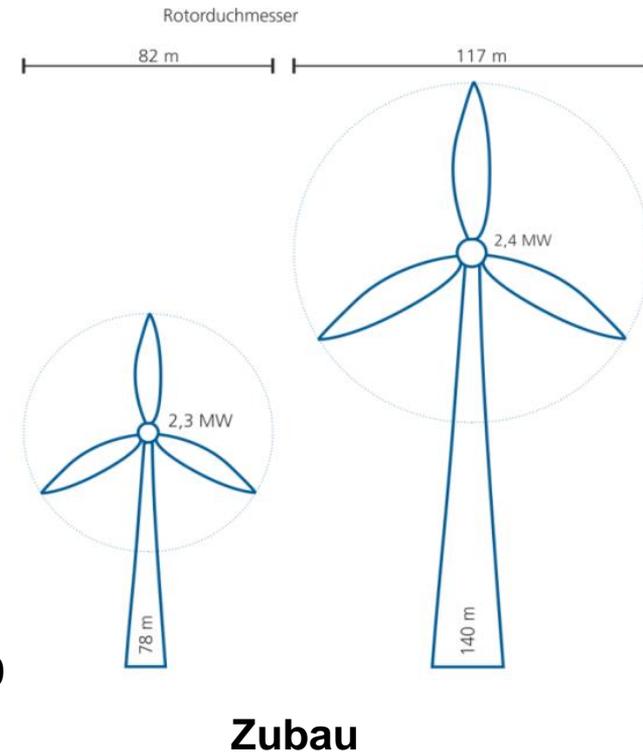
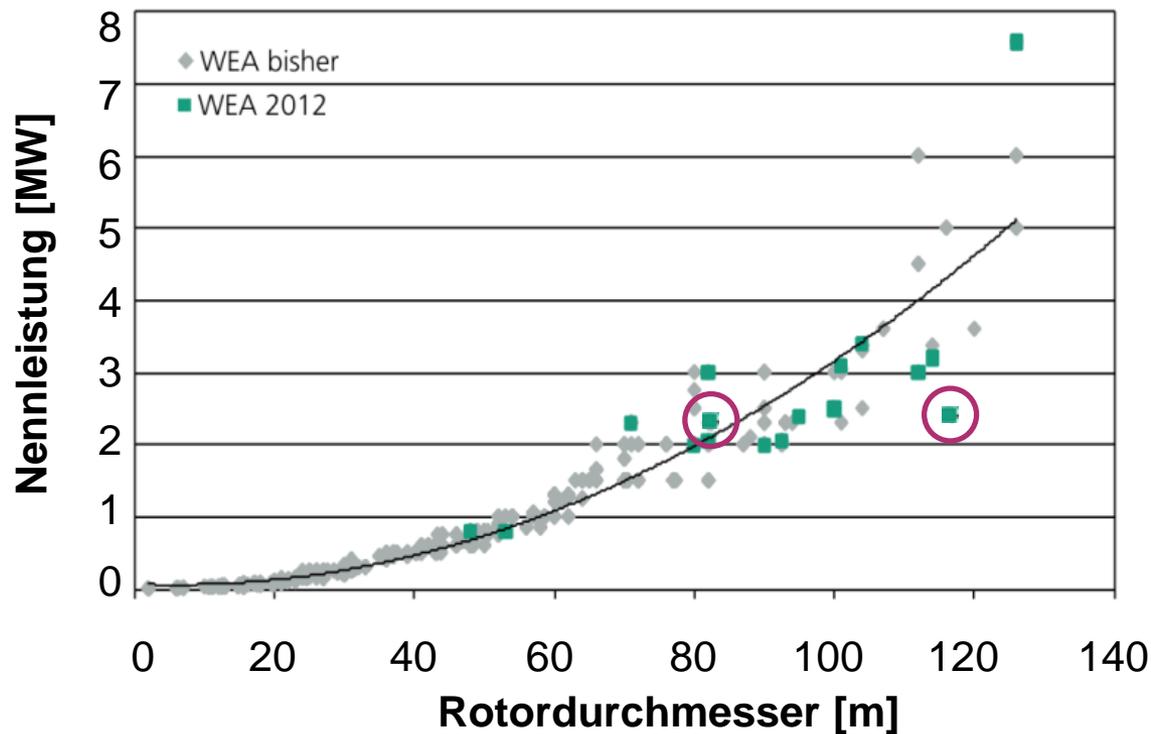
Fraunhofer IWES auf Basis des Windatlas Baden-Württemberg sowie COSMO-DE-Modells des Deutschen Wetterdienstes

Differenzierung von Windenergieanlagen nach Rotordurchmesser und Nennleistung

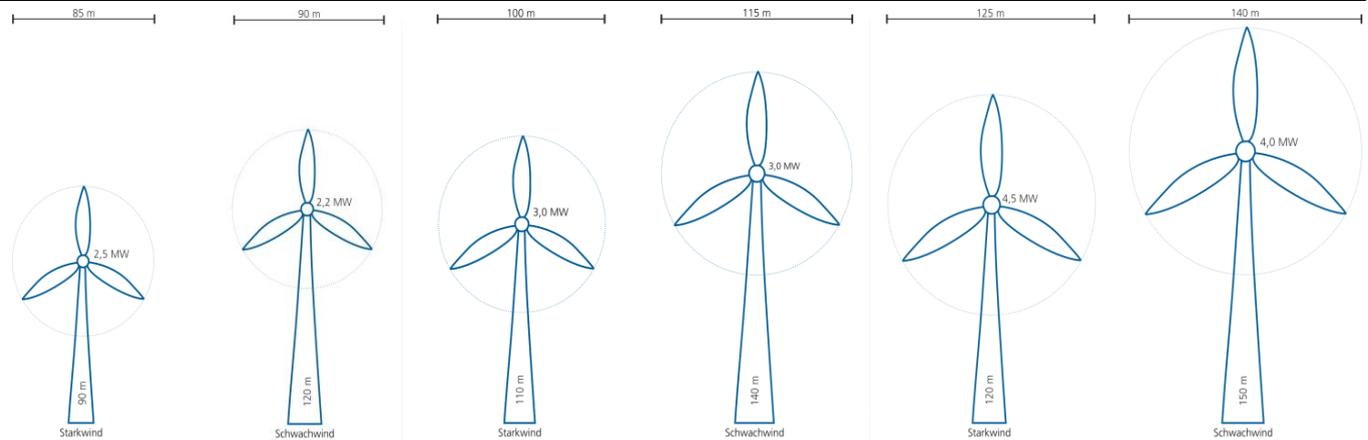


Windenergie Report 2012, IWES

Differenzierung von Windenergieanlagen nach Rotordurchmesser und Nennleistung



Status Quo und Annahmen zur weiteren Entwicklung der durchschnittlichen Kennwerte von Windenergieanlagen



	2013		2023		2033	
	Starkwind	Schwachwind	Starkwind	Schwachwind	Starkwind	Schwachwind
Nennleistung	2,5 MW	2,2 MW	3 MW	3 MW	4,5 MW	4 MW
Rotor-ϕ	85 m	90 m	100 m	115 m	125 m	140 m
Spezifische Nennleistung	441 W/m ²	346 W/m ²	382 W/m ²	289 W/m ²	367 W/m ²	260 W/m ²
Nabenhöhe	90 m	120 m	110 m	140 m	120 m	150 m
cp_{max}	0,48	0,48	0,5	0,5	0,51	0,51

Annahmen aus: Fraunhofer IWES, Agora Energiewende - *Kostenoptimaler Ausbau der Erneuerbaren Energien in Deutschland*

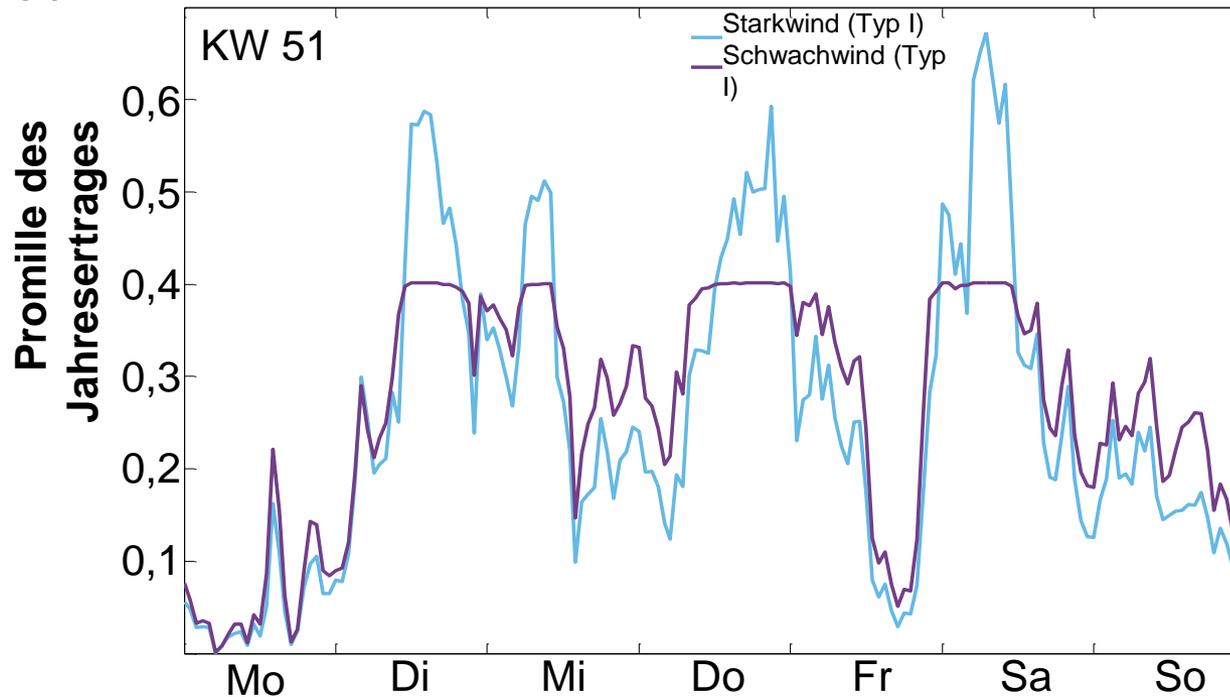
Volllaststunden unterschiedlicher Anlagentypen (meteorologisches Jahr 2011)

	Starkwind		Schwachwind	
	Typ I	Typ II	Typ I	Typ II
Leistung	2,5 MW	3,0 MW	3,0 MW	2,0 MW
∅ Rotor	85 m	100 m	115 m	110 m
Nabenhöhe	90 m	110 m	140 m	125 m
Spez. Nennleistung	441 W/m ²	382 W/m ²	289 W/m ²	210 W/m ²
Nord	2.450 h	3.250 h	4.350 h	4.650 h
Süd	1.450 h	1.850 h	2.500 h	2.750 h



Einspeisung am Standort Süd in Kalenderwoche 51

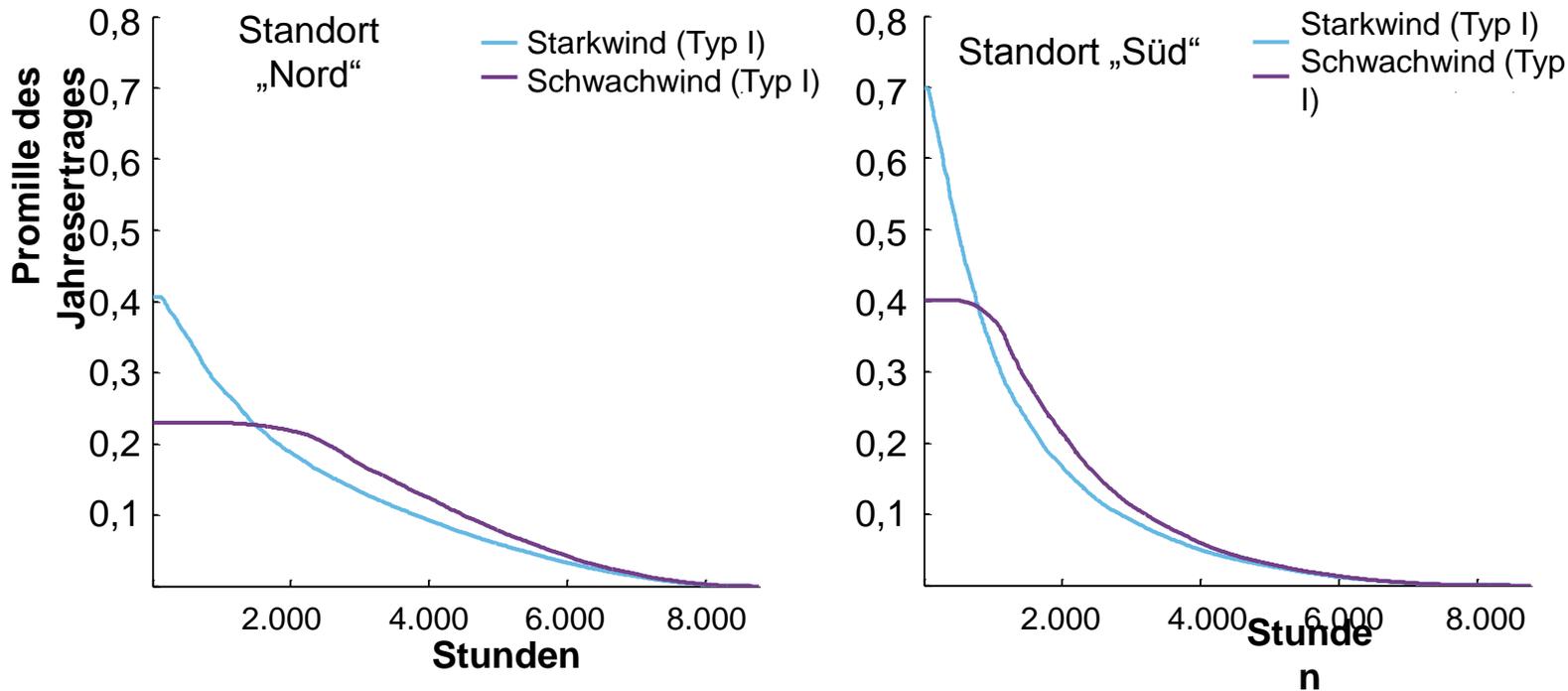
Durch die Skalierung ist die Fläche unter beiden Kurven über das Jahr betrachtet gleich groß



Fraunhofer IWES, Datenbasis DWD

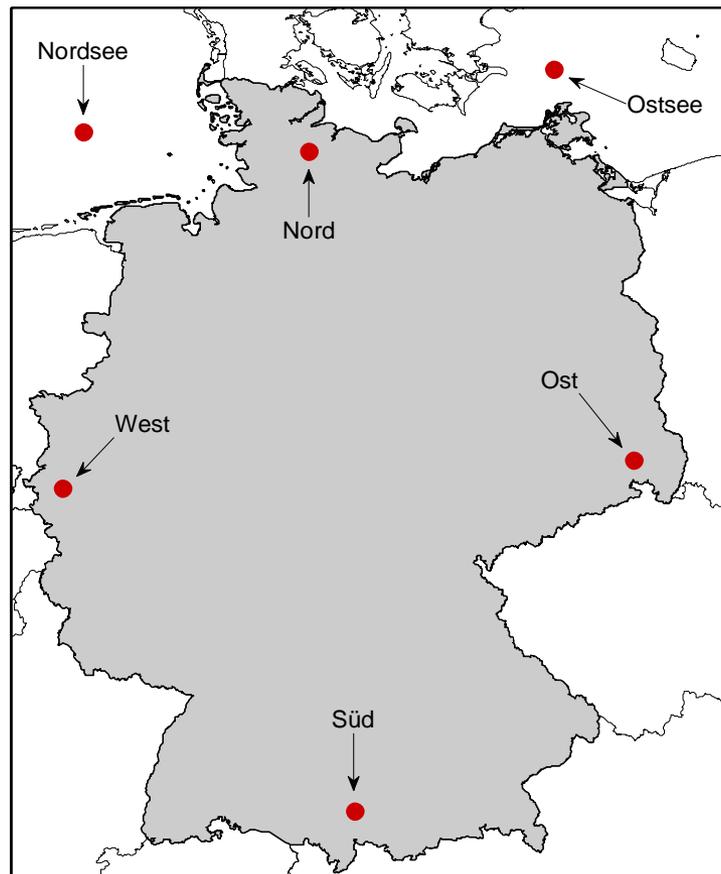
Geordnete Jahresdauerlinie für verschiedene Anlagentypen an Standorten in Nord- und Süddeutschland

Bezug: Jahresenergieertrag der jeweiligen Anlage



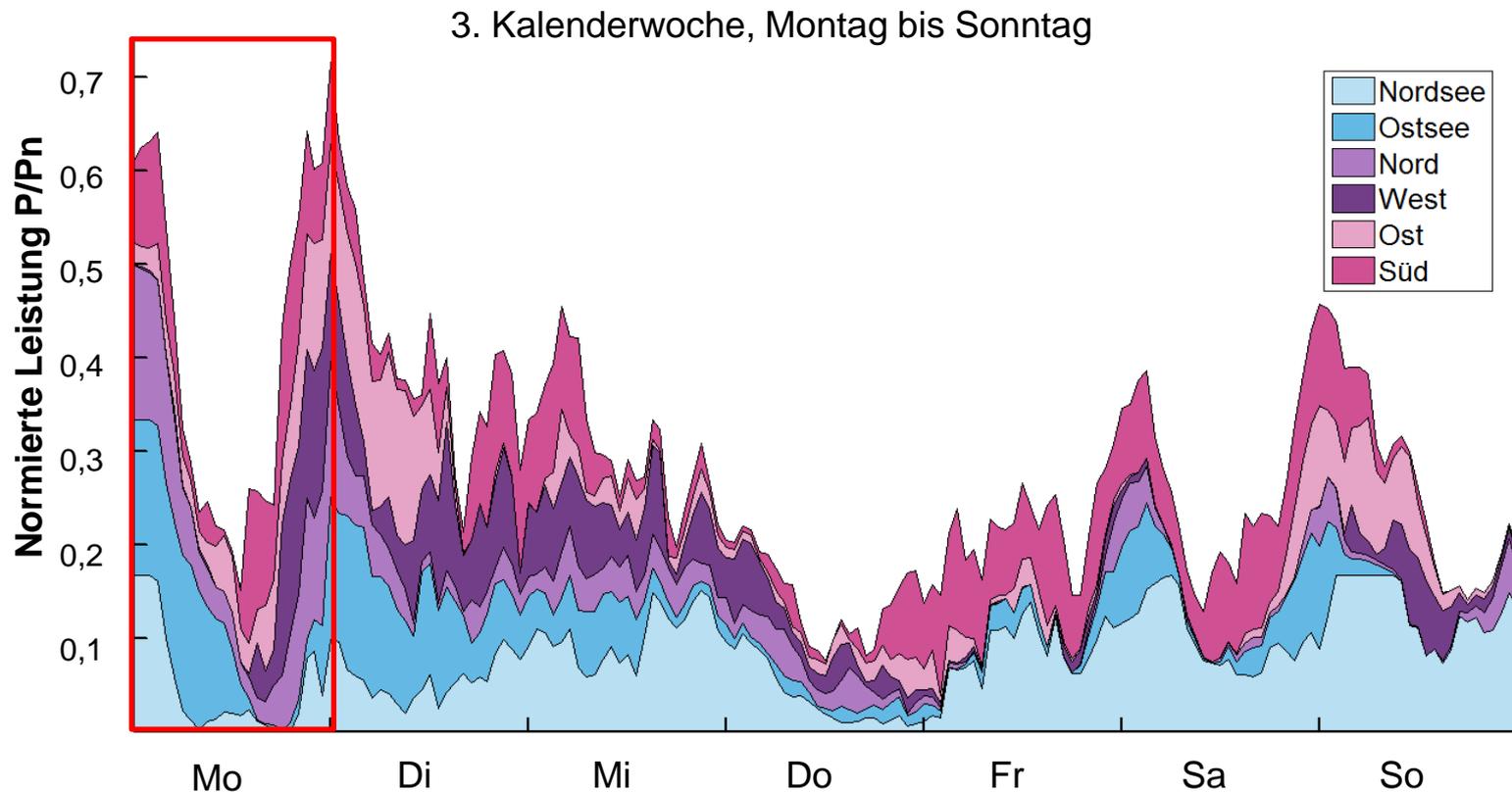
Fraunhofer IWES, Datenbasis DWD

Standorte für die Analyse der räumlichen Korrelation



Fraunhofer IWES

Normierte Einspeisung in der 3. Kalenderwoche an den 6 betrachteten Standorten

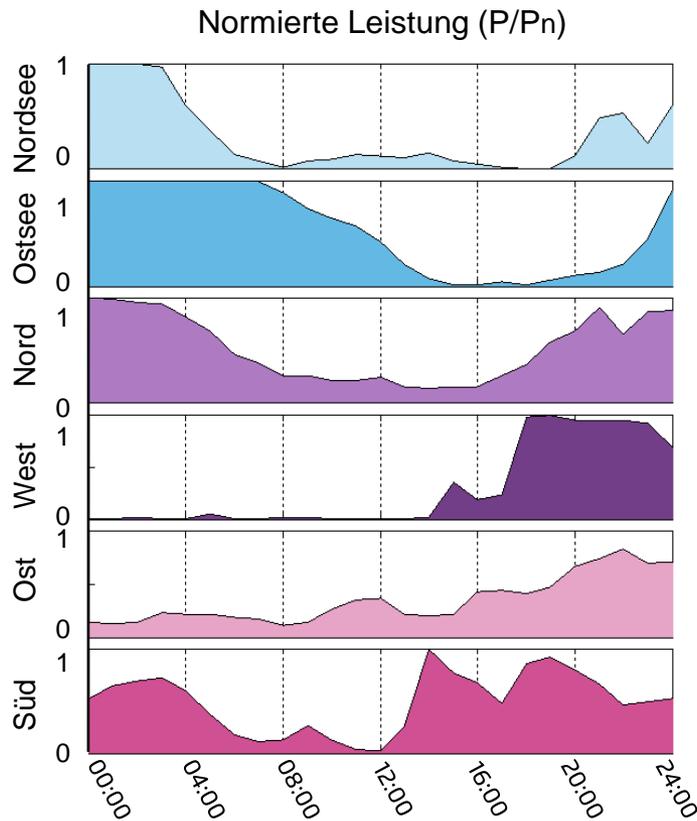


Fraunhofer IWES, Datenbasis DWD

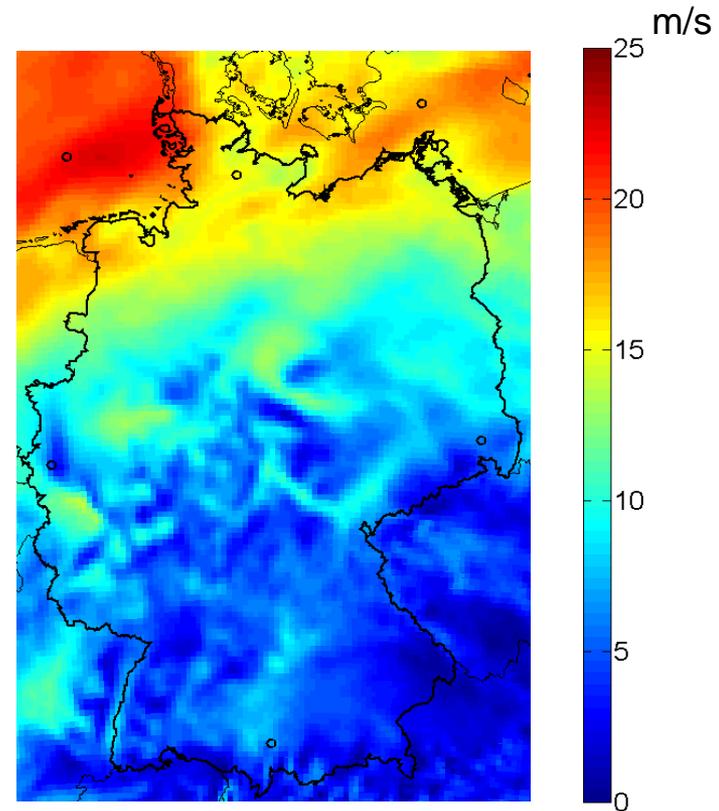
Z^ã^ã@} ÈXã^[Áã^} K

Einspeisung aus Windenergieanlagen an den 6 betrachteten Standorten

3. Kalenderwoche, Montag, 00:00 bis 24:00 Uhr



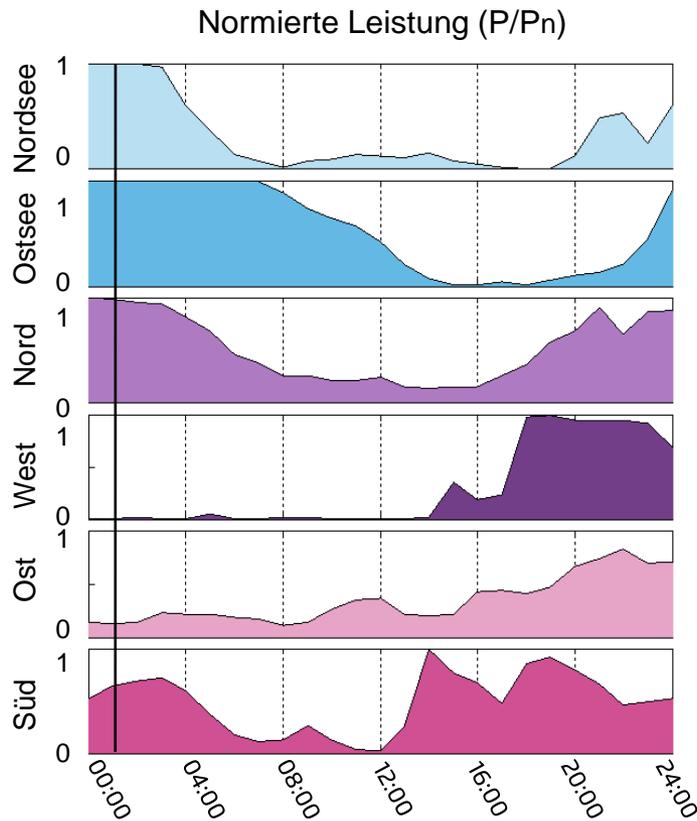
00:00



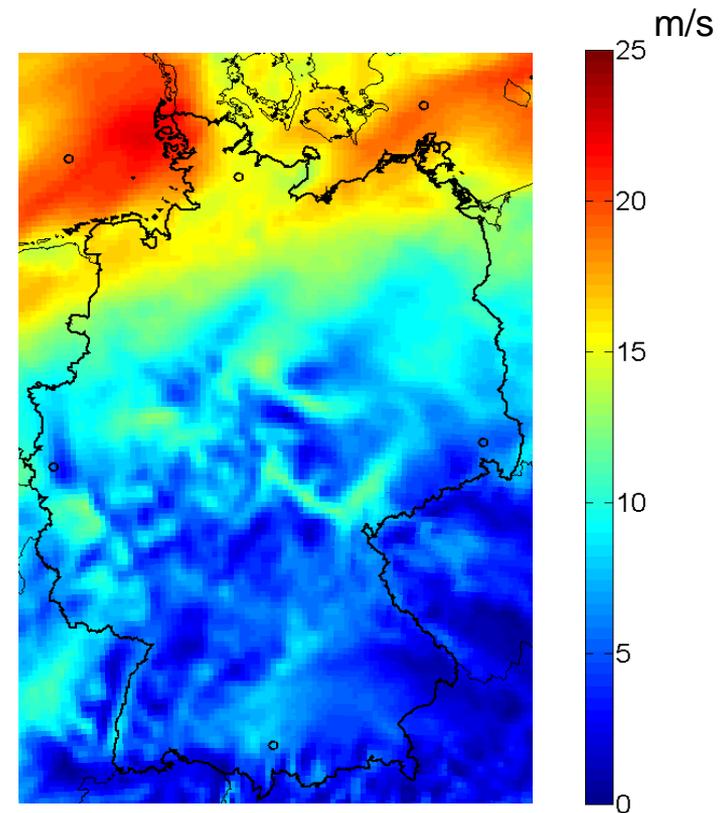
Fraunhofer IWES, auf Basis von Analysedaten des COSMO-DE-Modells des DWD, meteorologisches Jahr 2011

Einspeisung aus Windenergieanlagen an den 6 betrachteten Standorten

3. Kalenderwoche, Montag, 00:00 bis 24:00 Uhr



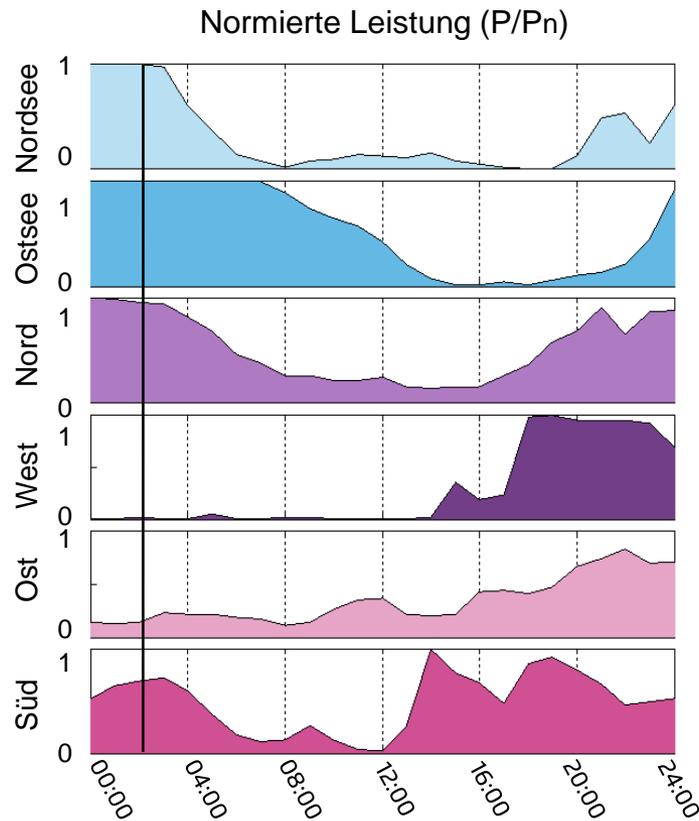
01:00



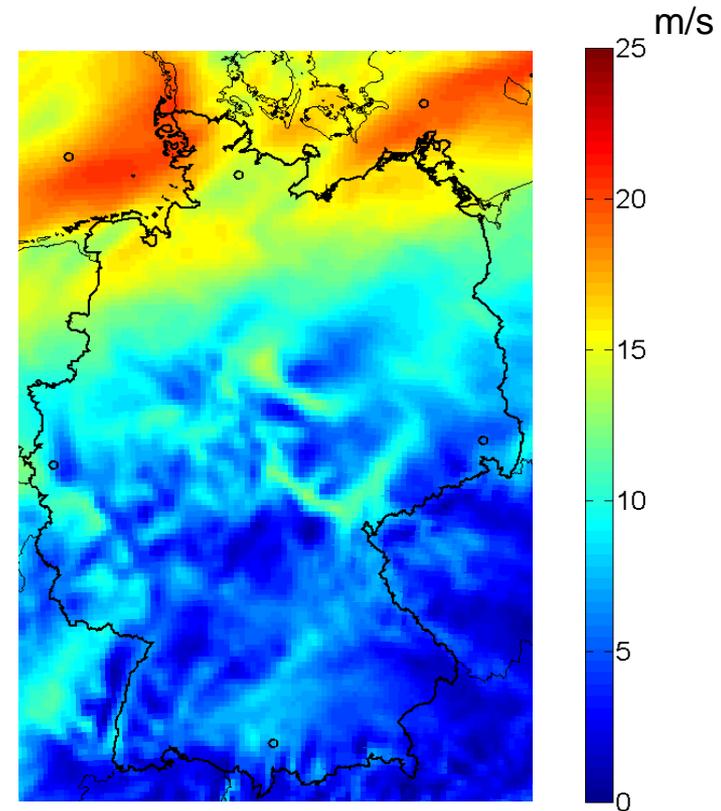
Fraunhofer IWES, auf Basis von Analysedaten des COSMO-DE-Modells des DWD, meteorologisches Jahr 2011

Einspeisung aus Windenergieanlagen an den 6 betrachteten Standorten

3. Kalenderwoche, Montag, 00:00 bis 24:00 Uhr



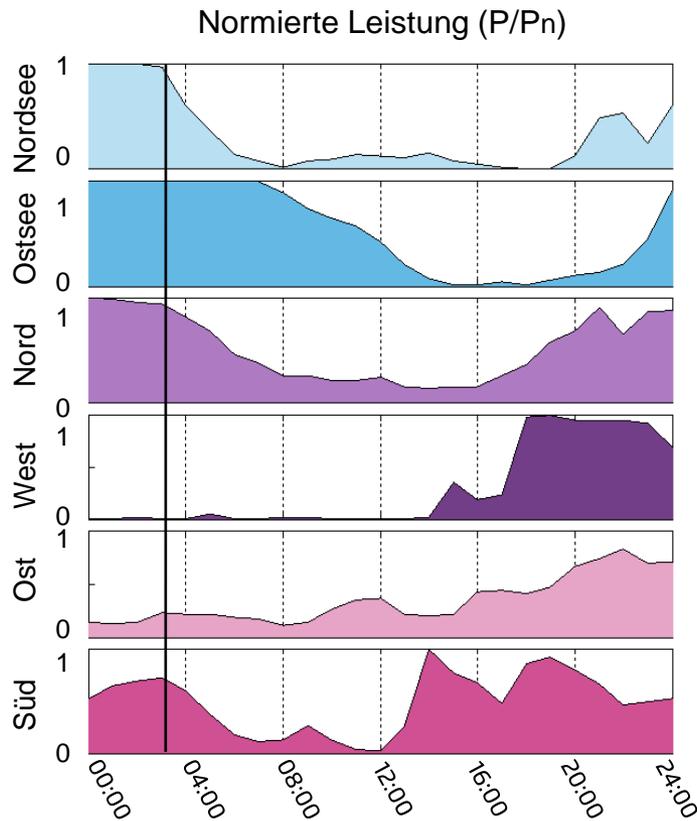
02:00



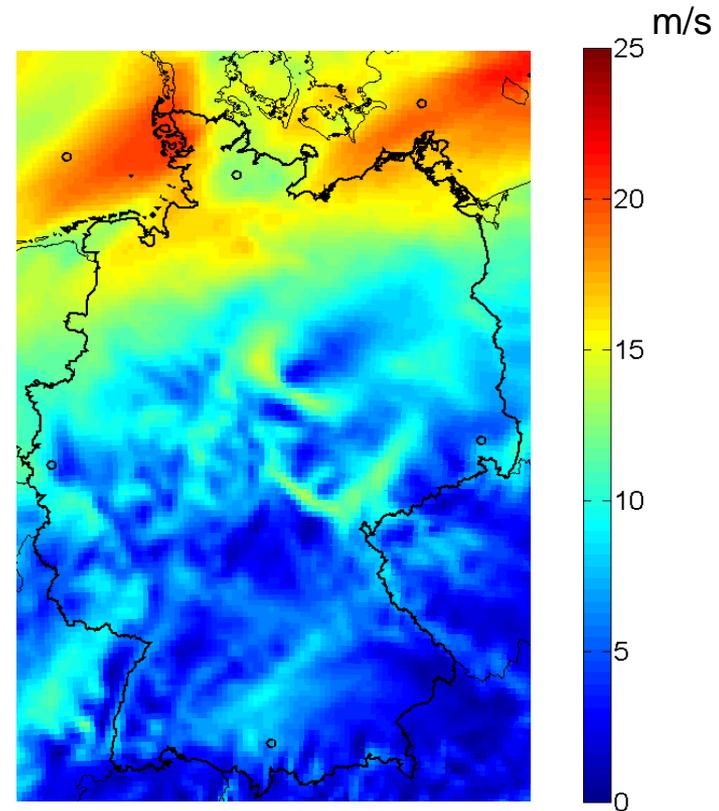
Fraunhofer IWES, auf Basis von Analysedaten des COSMO-DE-Modells des DWD, meteorologisches Jahr 2011

Einspeisung aus Windenergieanlagen an den 6 betrachteten Standorten

3. Kalenderwoche, Montag, 00:00 bis 24:00 Uhr



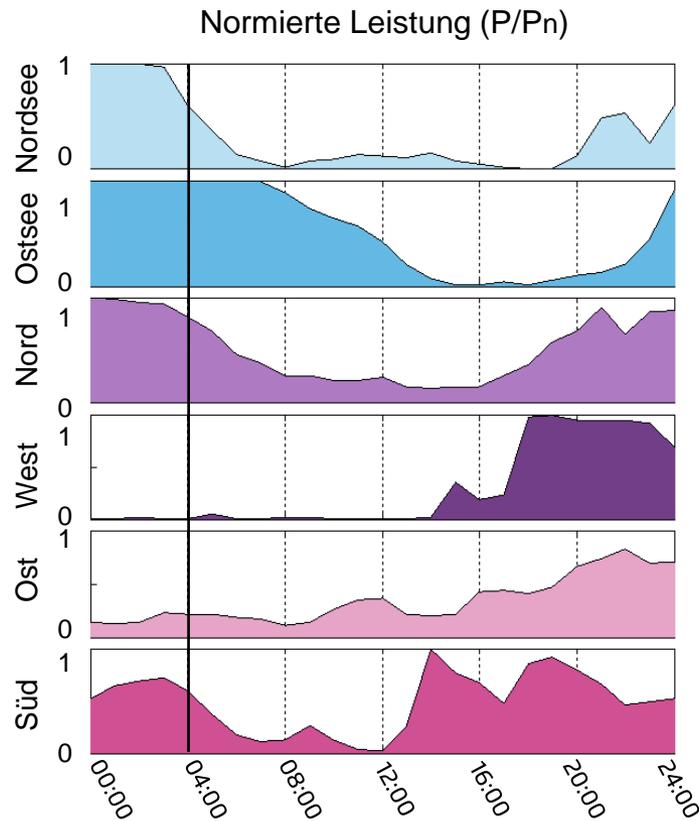
03:00



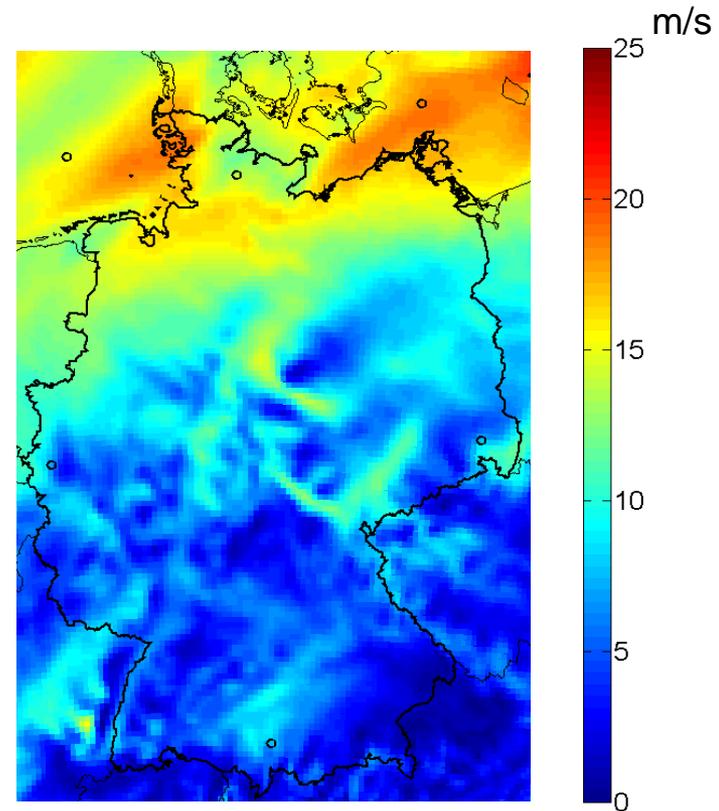
Fraunhofer IWES, auf Basis von Analysedaten des COSMO-DE-Modells des DWD, meteorologisches Jahr 2011

Einspeisung aus Windenergieanlagen an den 6 betrachteten Standorten

3. Kalenderwoche, Montag, 00:00 bis 24:00 Uhr



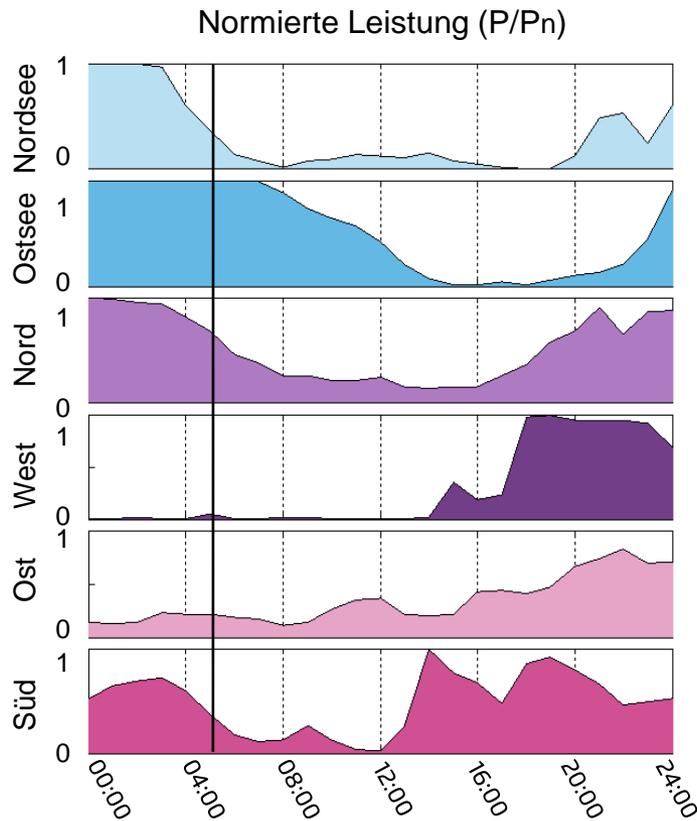
04:00



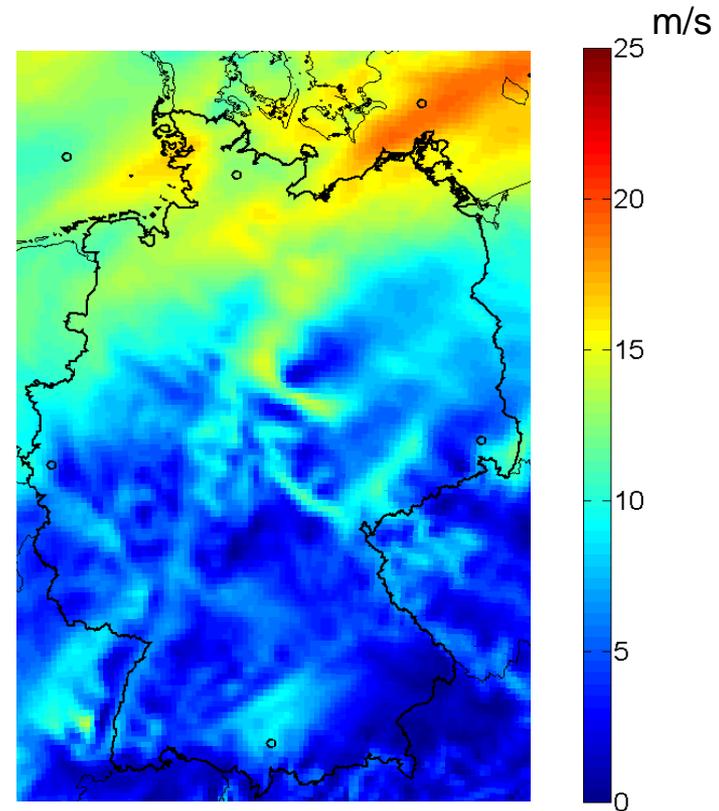
Fraunhofer IWES, auf Basis von Analysedaten des COSMO-DE-Modells des DWD, meteorologisches Jahr 2011

Einspeisung aus Windenergieanlagen an den 6 betrachteten Standorten

3. Kalenderwoche, Montag, 00:00 bis 24:00 Uhr



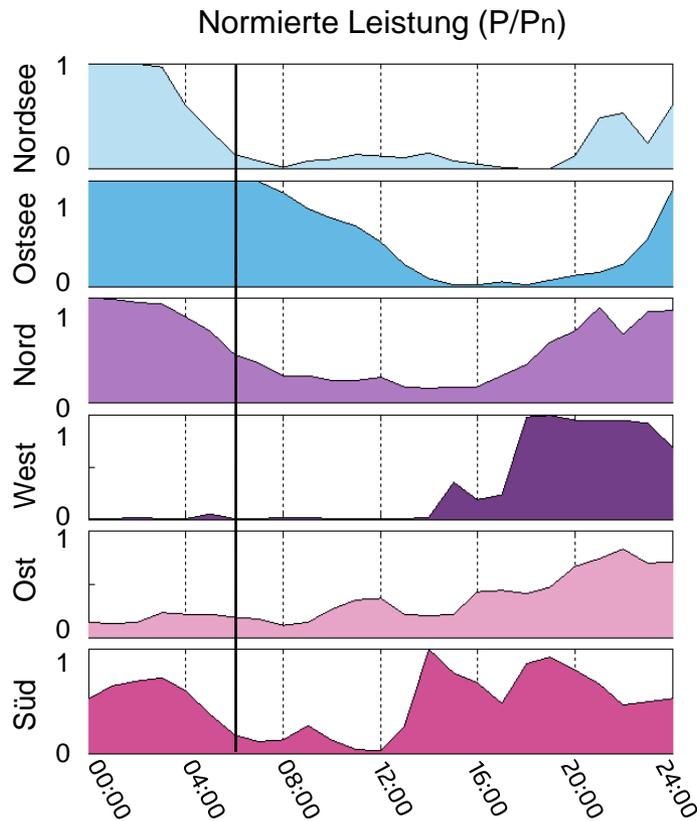
05:00



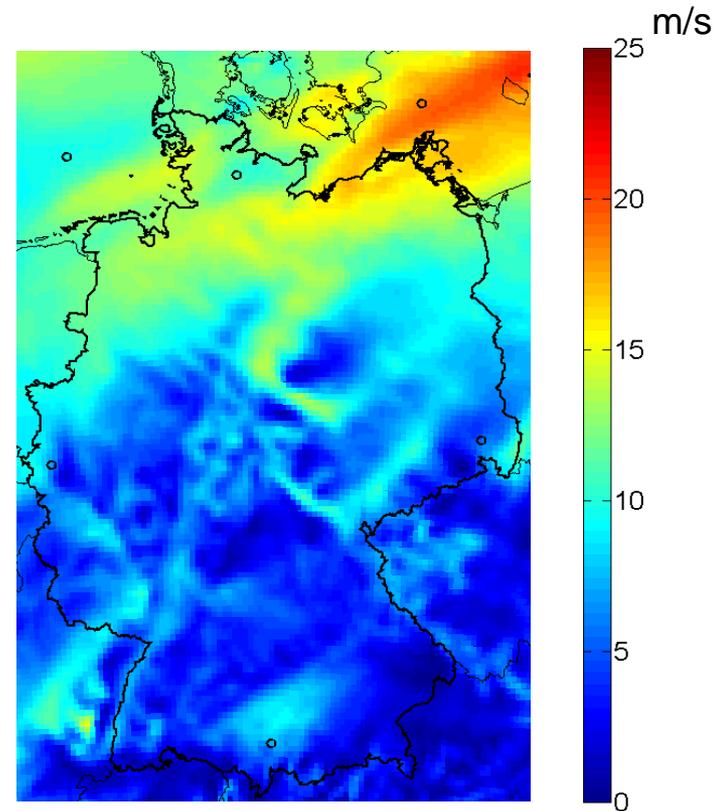
Fraunhofer IWES, auf Basis von Analysedaten des COSMO-DE-Modells des DWD, meteorologisches Jahr 2011

Einspeisung aus Windenergieanlagen an den 6 betrachteten Standorten

3. Kalenderwoche, Montag, 00:00 bis 24:00 Uhr



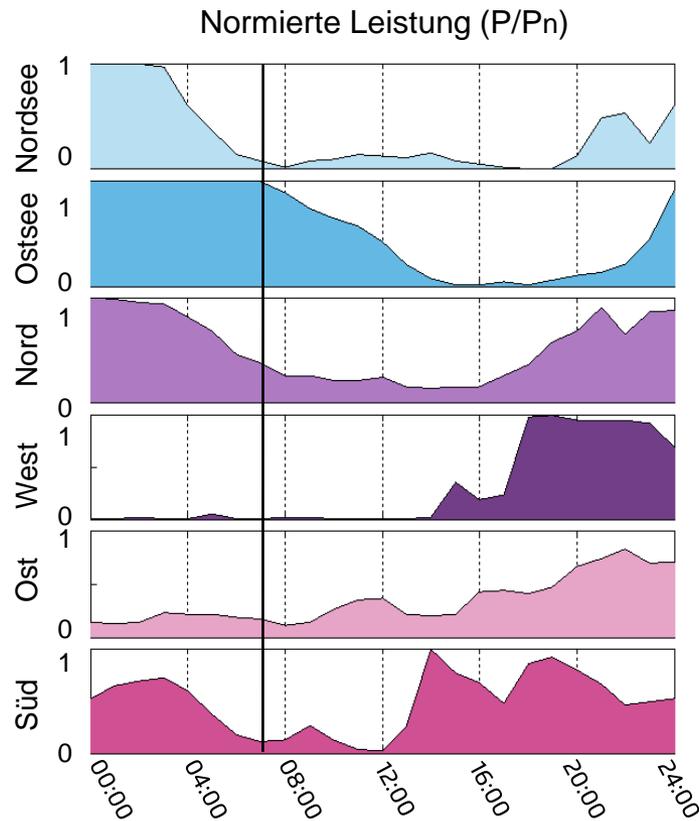
06:00



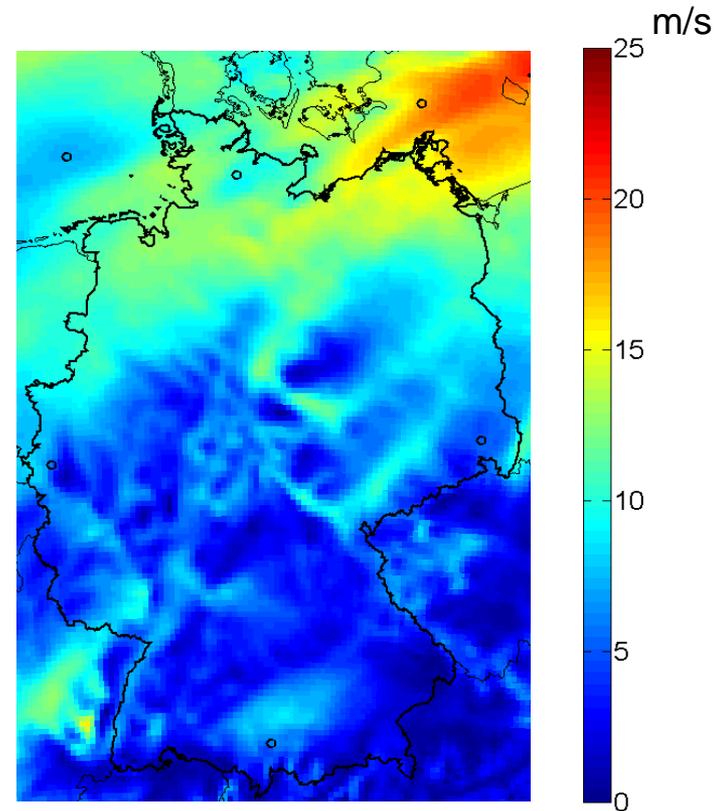
Fraunhofer IWES, auf Basis von Analysedaten des COSMO-DE-Modells des DWD, meteorologisches Jahr 2011

Einspeisung aus Windenergieanlagen an den 6 betrachteten Standorten

3. Kalenderwoche, Montag, 00:00 bis 24:00 Uhr



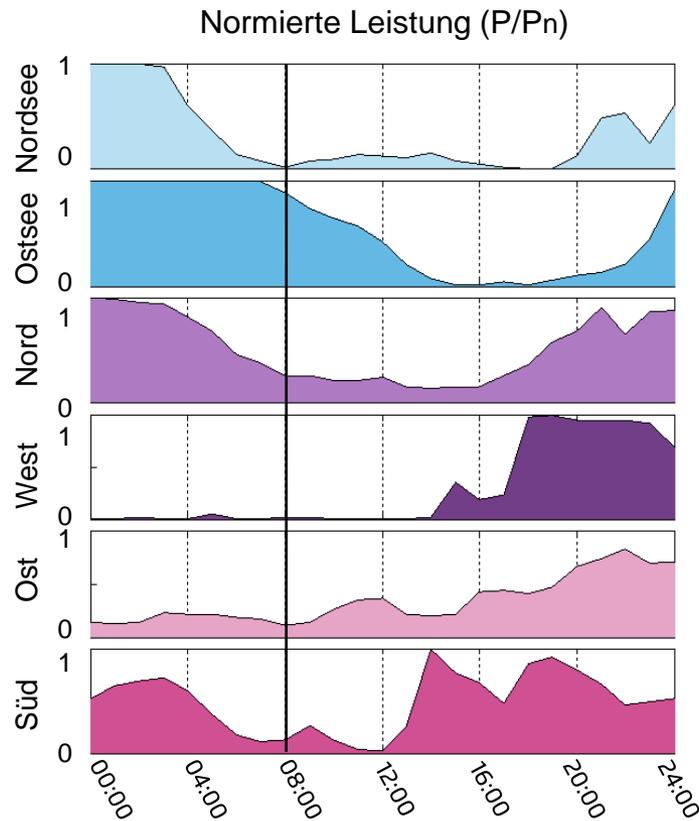
07:00



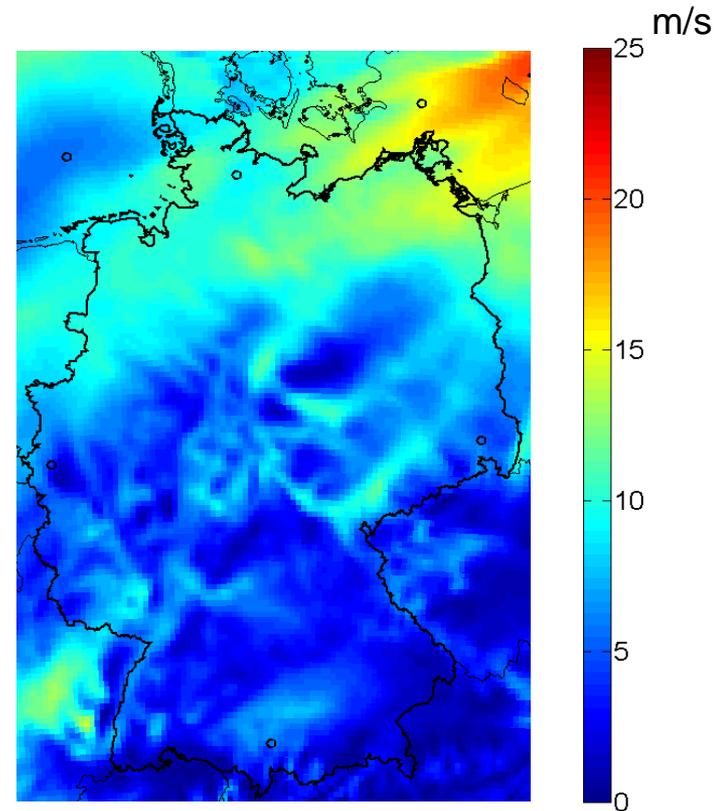
Fraunhofer IWES, auf Basis von Analysedaten des COSMO-DE-Modells des DWD, meteorologisches Jahr 2011

Einspeisung aus Windenergieanlagen an den 6 betrachteten Standorten

3. Kalenderwoche, Montag, 00:00 bis 24:00 Uhr



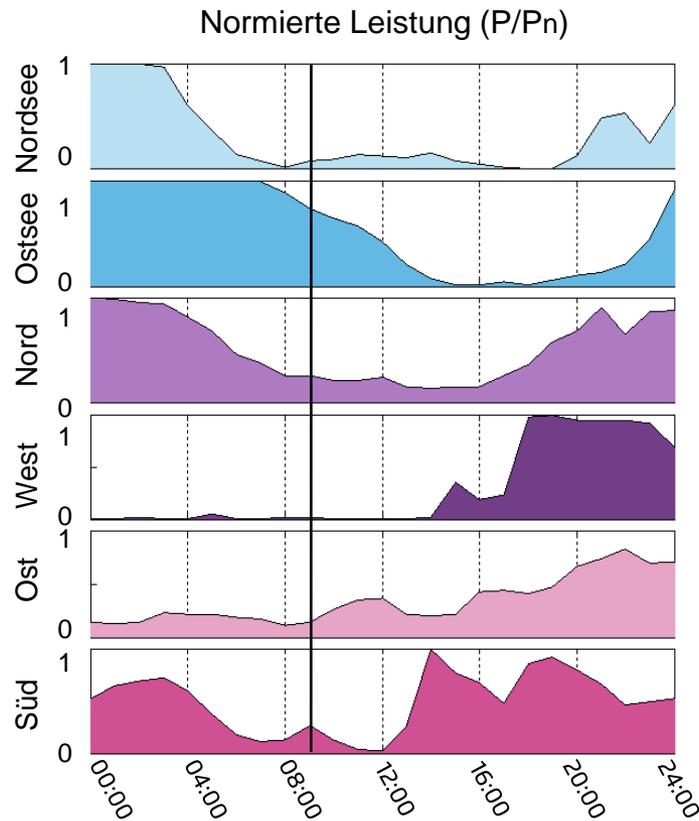
08:00



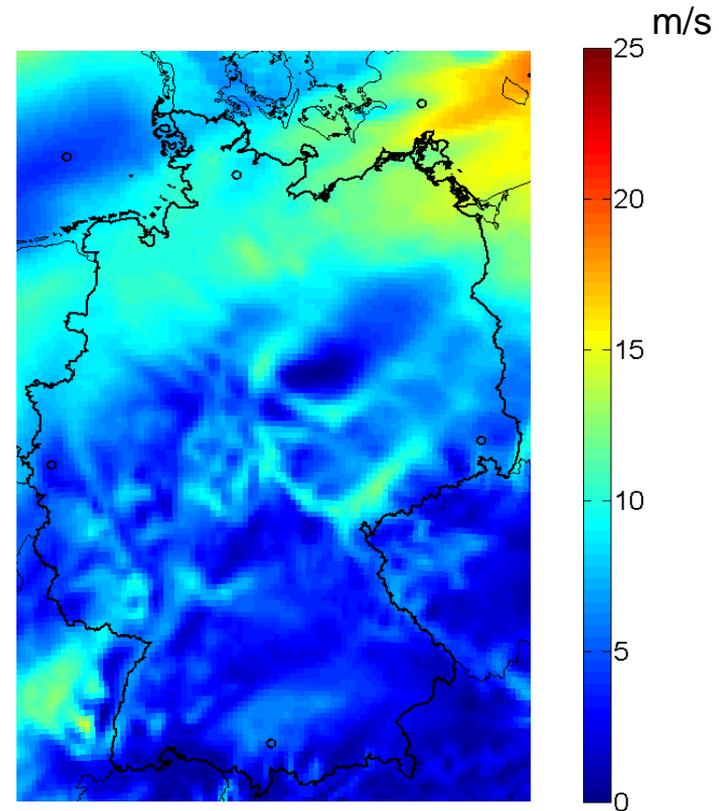
Fraunhofer IWES, auf Basis von Analysedaten des COSMO-DE-Modells des DWD, meteorologisches Jahr 2011

Einspeisung aus Windenergieanlagen an den 6 betrachteten Standorten

3. Kalenderwoche, Montag, 00:00 bis 24:00 Uhr



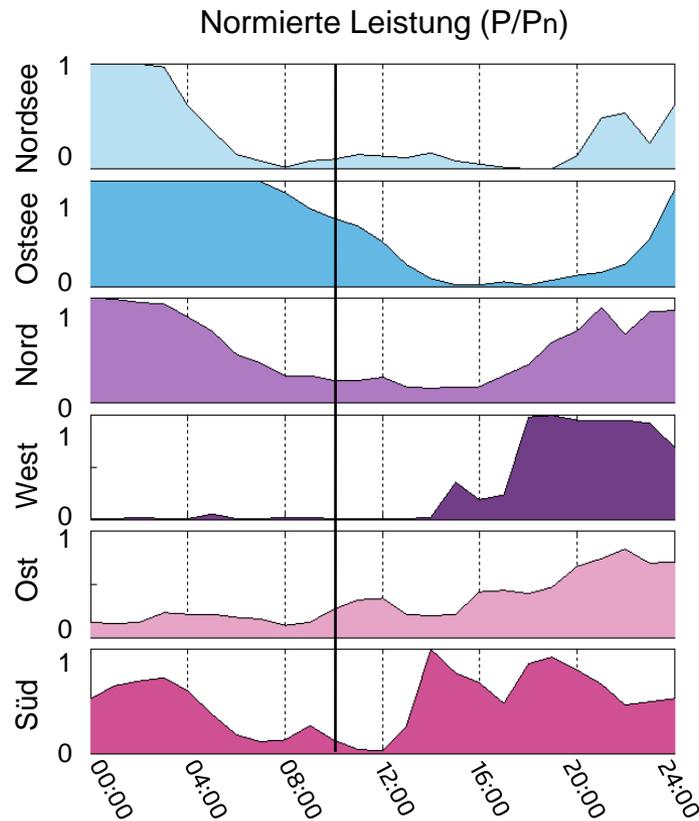
09:00



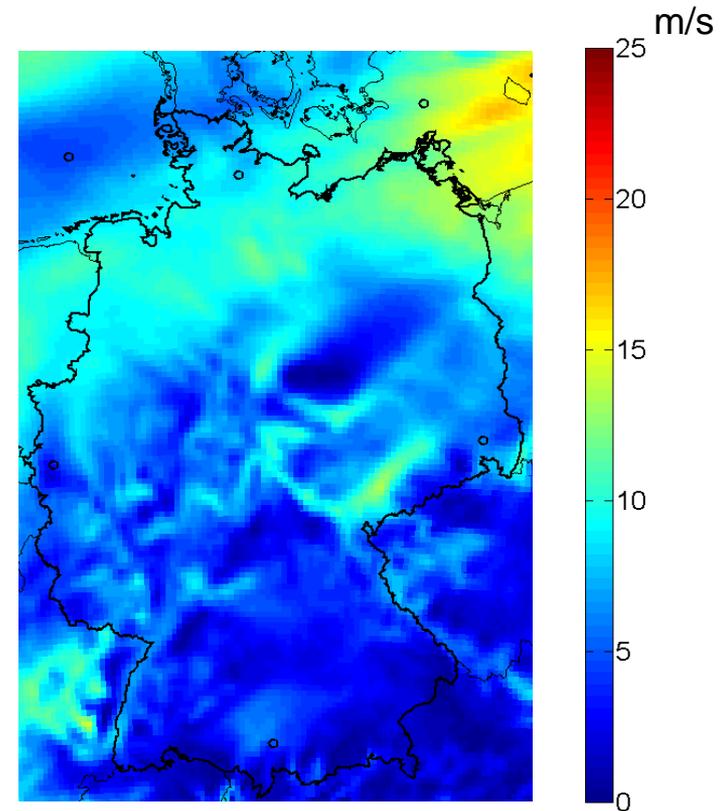
Fraunhofer IWES, auf Basis von Analysedaten des COSMO-DE-Modells des DWD, meteorologisches Jahr 2011

Einspeisung aus Windenergieanlagen an den 6 betrachteten Standorten

3. Kalenderwoche, Montag, 00:00 bis 24:00 Uhr



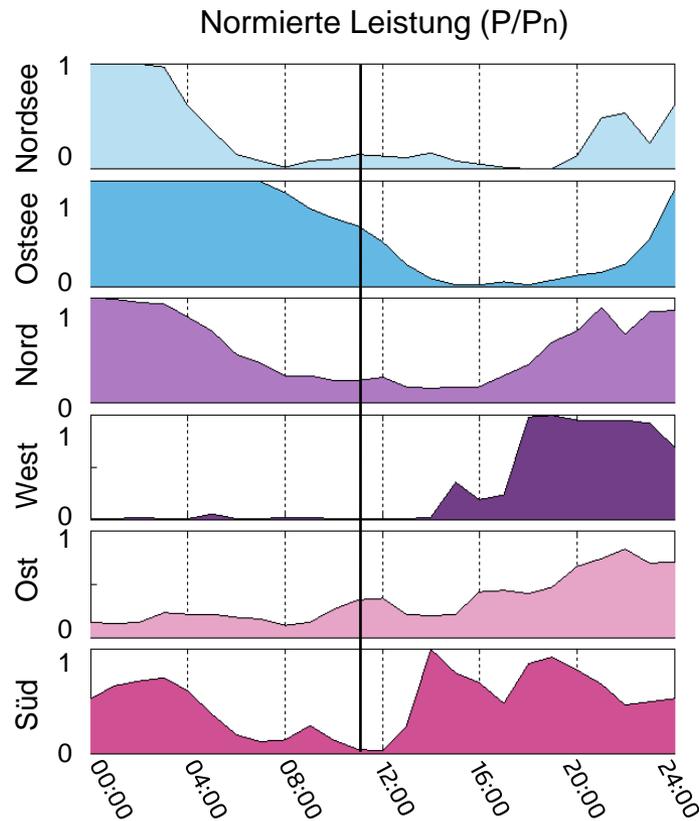
10:00



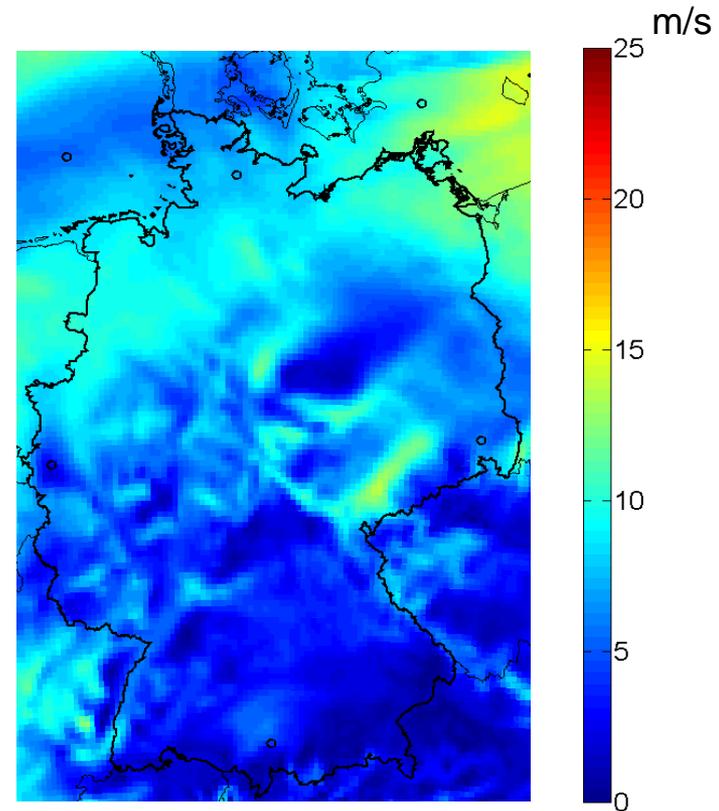
Fraunhofer IWES, auf Basis von Analysedaten des COSMO-DE-Modells des DWD, meteorologisches Jahr 2011

Einspeisung aus Windenergieanlagen an den 6 betrachteten Standorten

3. Kalenderwoche, Montag, 00:00 bis 24:00 Uhr



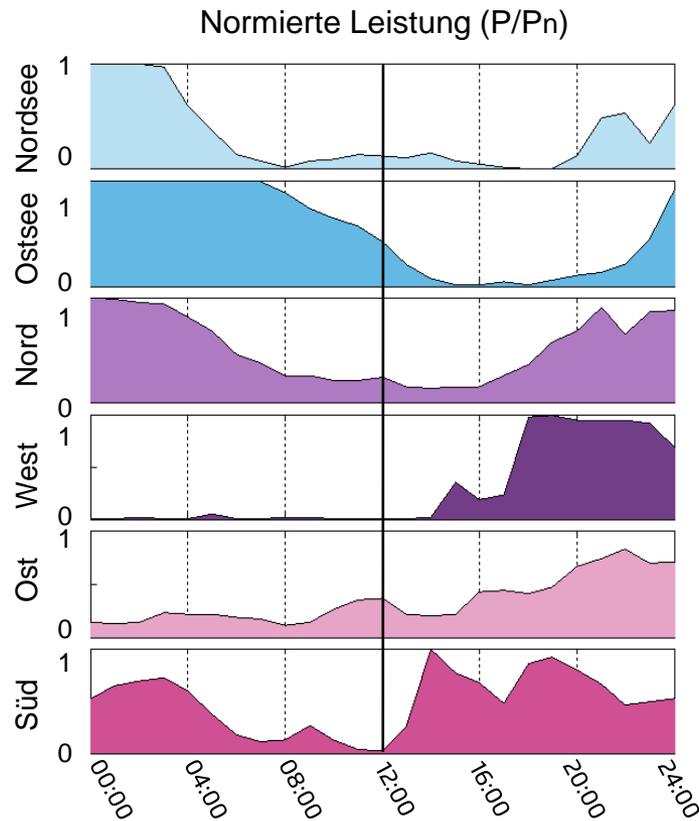
11:00



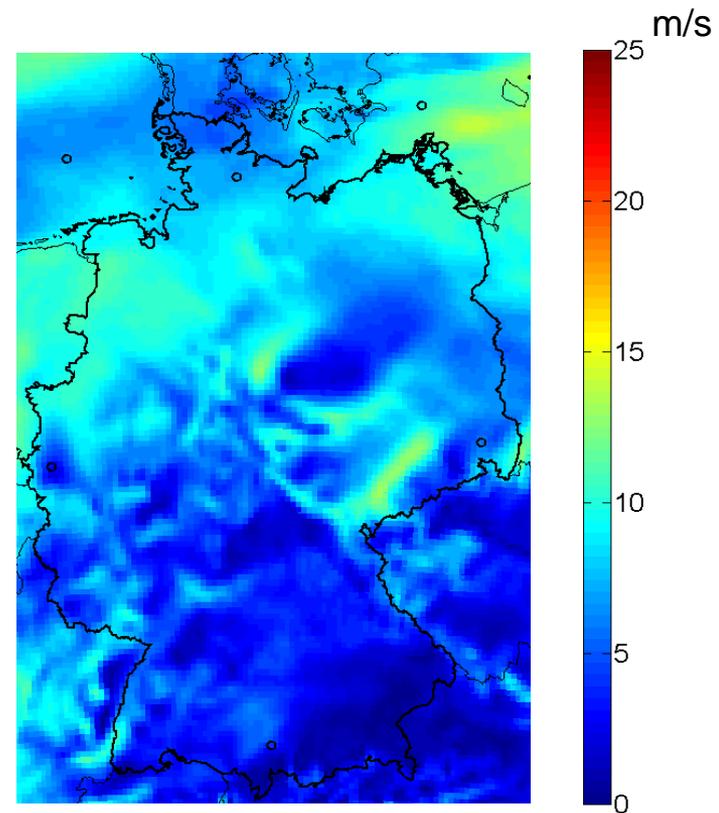
Fraunhofer IWES, auf Basis von Analysedaten des COSMO-DE-Modells des DWD, meteorologisches Jahr 2011

Einspeisung aus Windenergieanlagen an den 6 betrachteten Standorten

3. Kalenderwoche, Montag, 00:00 bis 24:00 Uhr



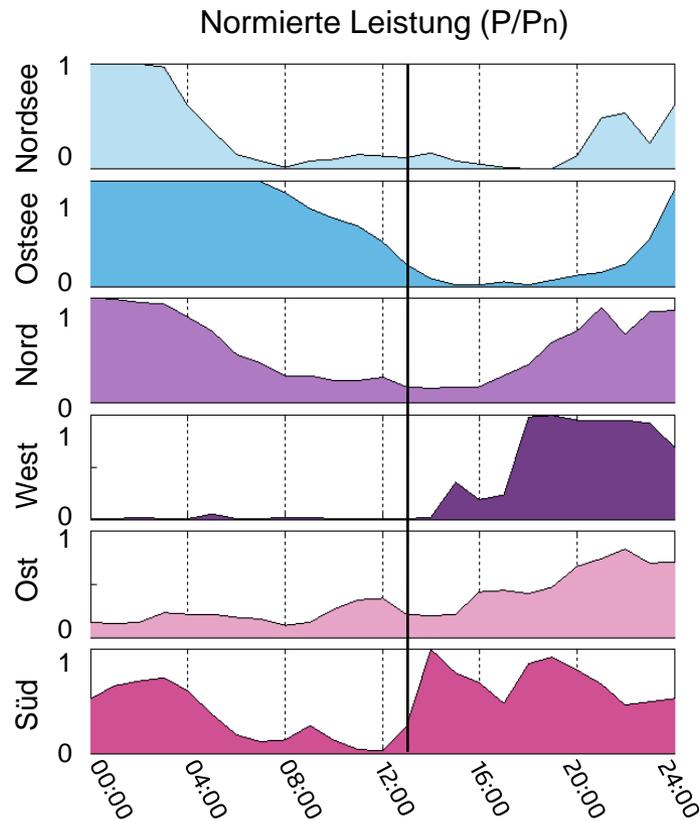
12:00



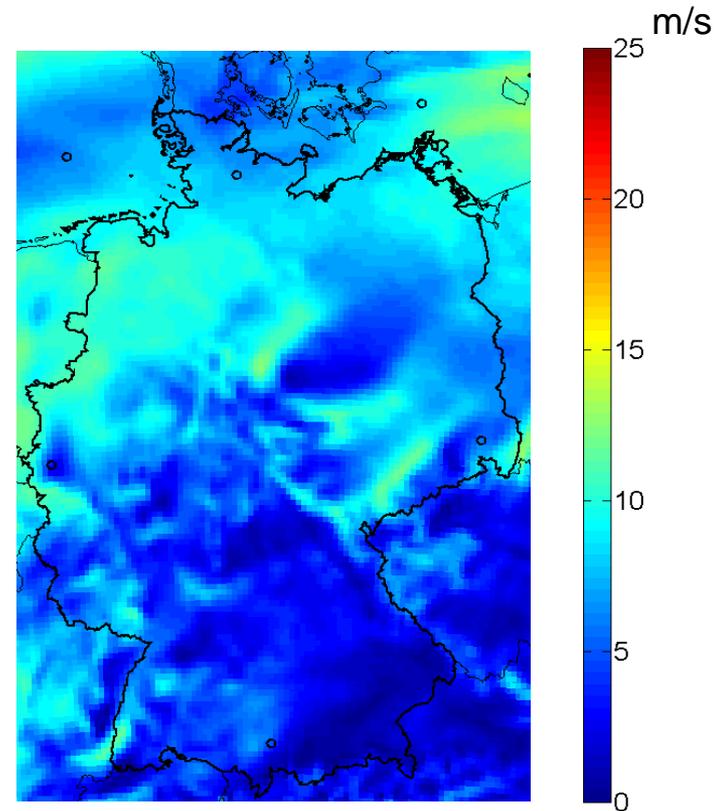
Fraunhofer IWES, auf Basis von Analysedaten des COSMO-DE-Modells des DWD, meteorologisches Jahr 2011

Einspeisung aus Windenergieanlagen an den 6 betrachteten Standorten

3. Kalenderwoche, Montag, 00:00 bis 24:00 Uhr



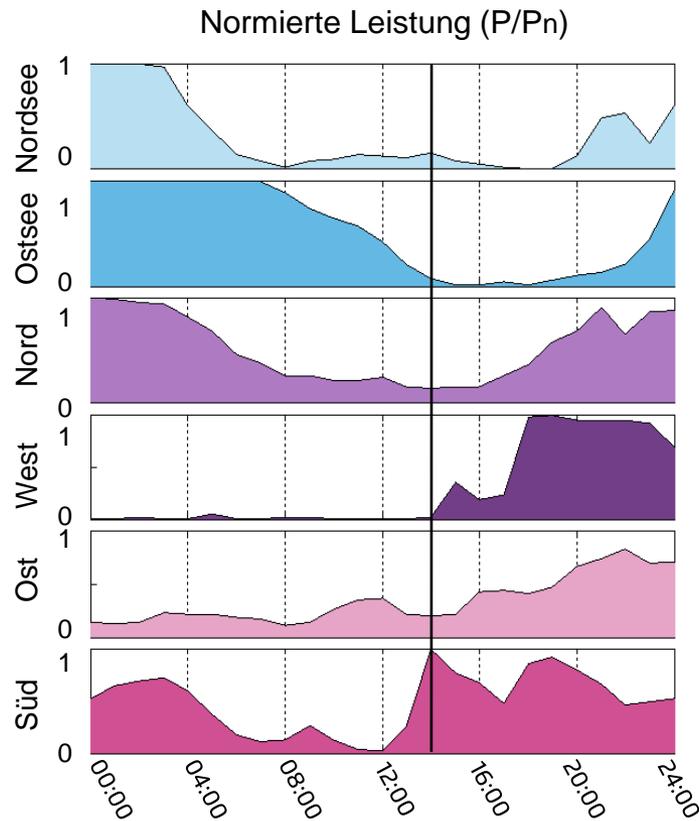
13:00



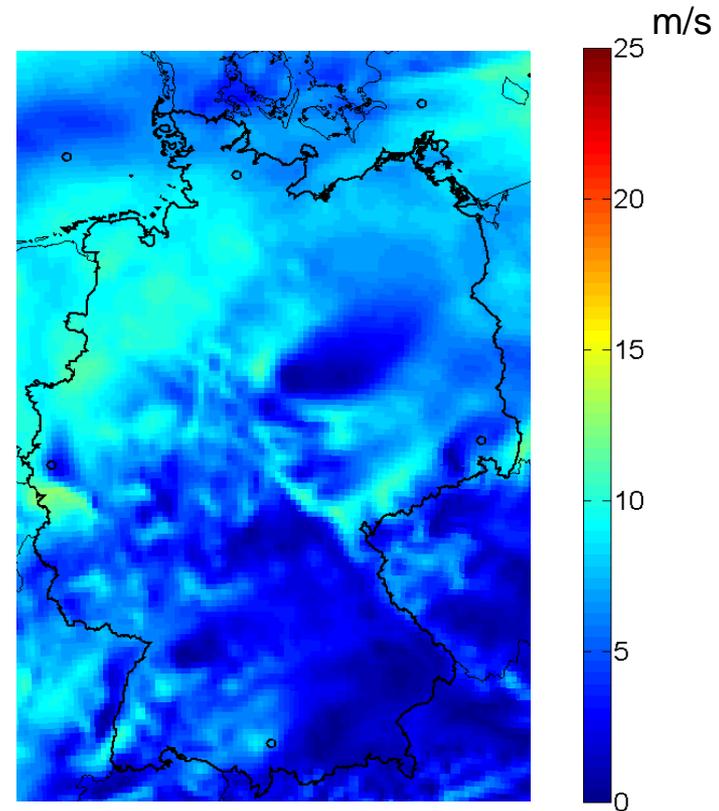
Fraunhofer IWES, auf Basis von Analysedaten des COSMO-DE-Modells des DWD, meteorologisches Jahr 2011

Einspeisung aus Windenergieanlagen an den 6 betrachteten Standorten

3. Kalenderwoche, Montag, 00:00 bis 24:00 Uhr



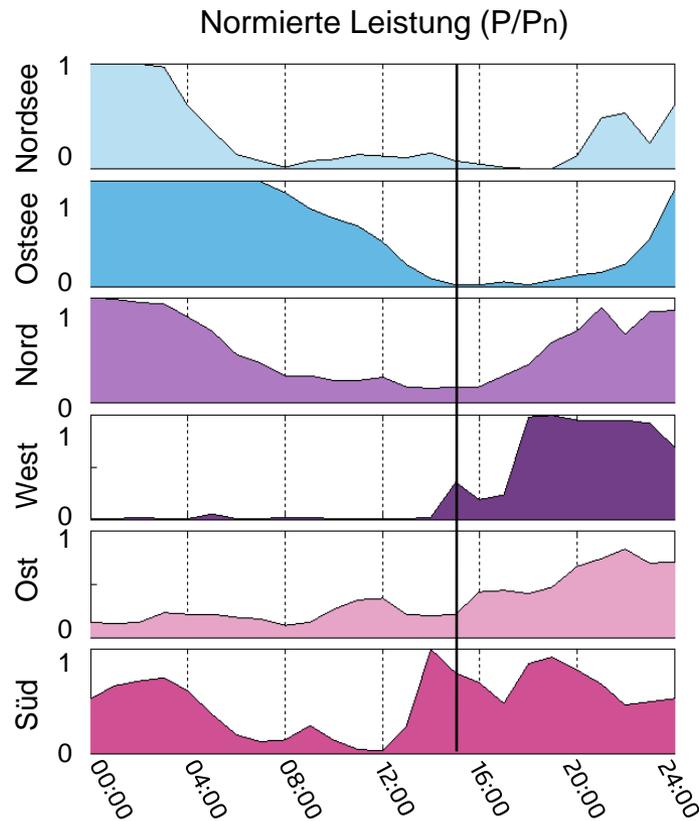
14:00



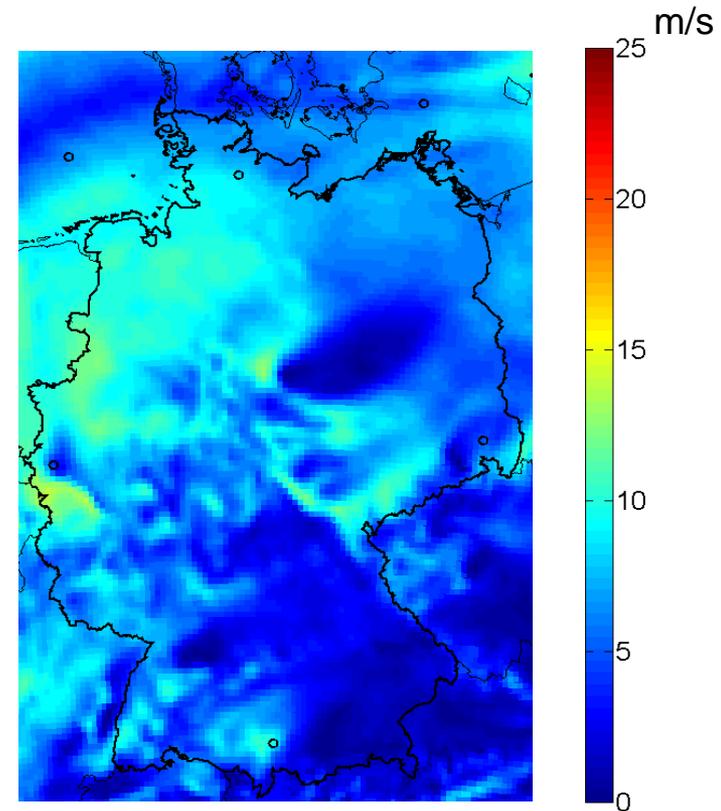
Fraunhofer IWES, auf Basis von Analysedaten des COSMO-DE-Modells des DWD, meteorologisches Jahr 2011

Einspeisung aus Windenergieanlagen an den 6 betrachteten Standorten

3. Kalenderwoche, Montag, 00:00 bis 24:00 Uhr



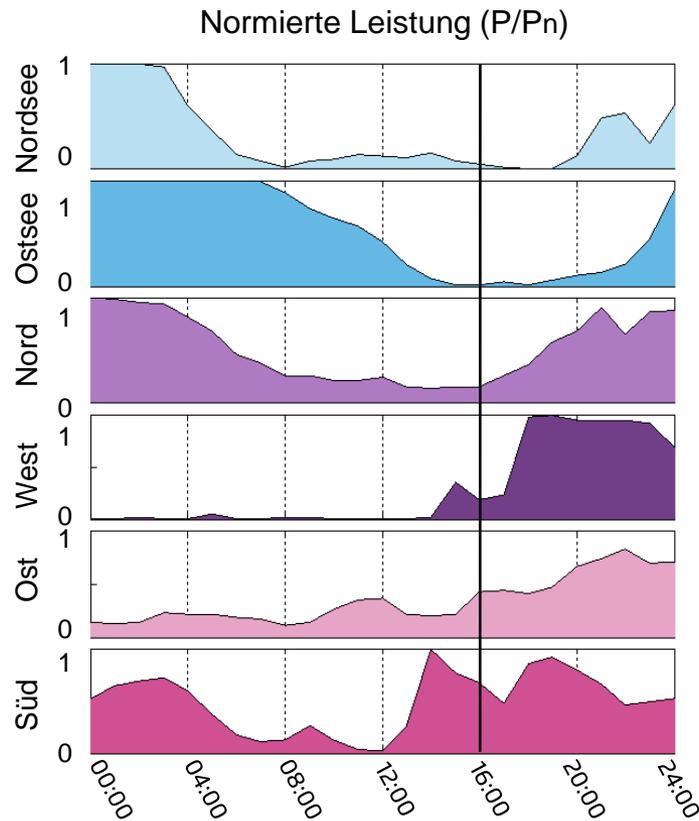
15:00



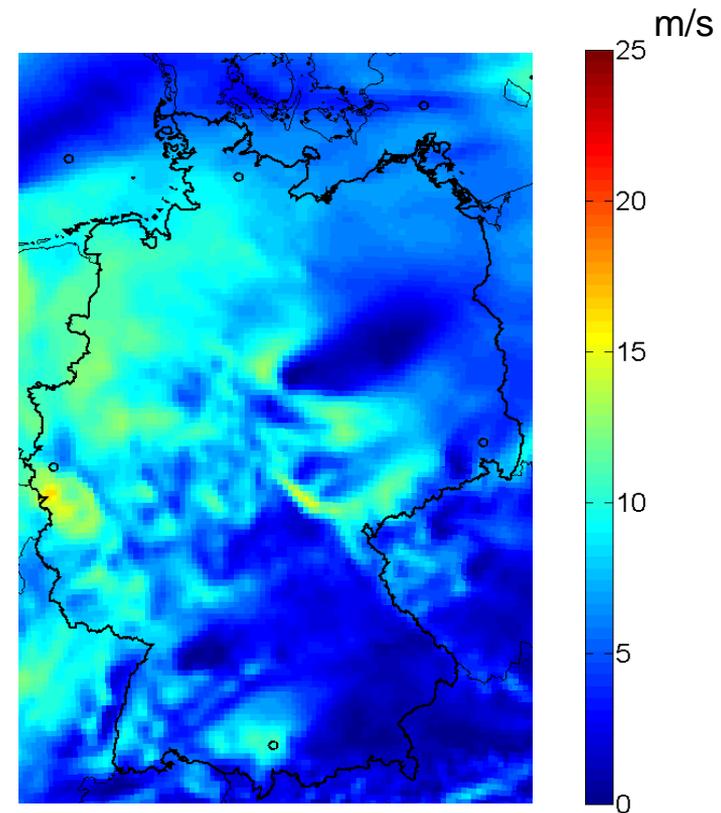
Fraunhofer IWES, auf Basis von Analysedaten des COSMO-DE-Modells des DWD, meteorologisches Jahr 2011

Einspeisung aus Windenergieanlagen an den 6 betrachteten Standorten

3. Kalenderwoche, Montag, 00:00 bis 24:00 Uhr



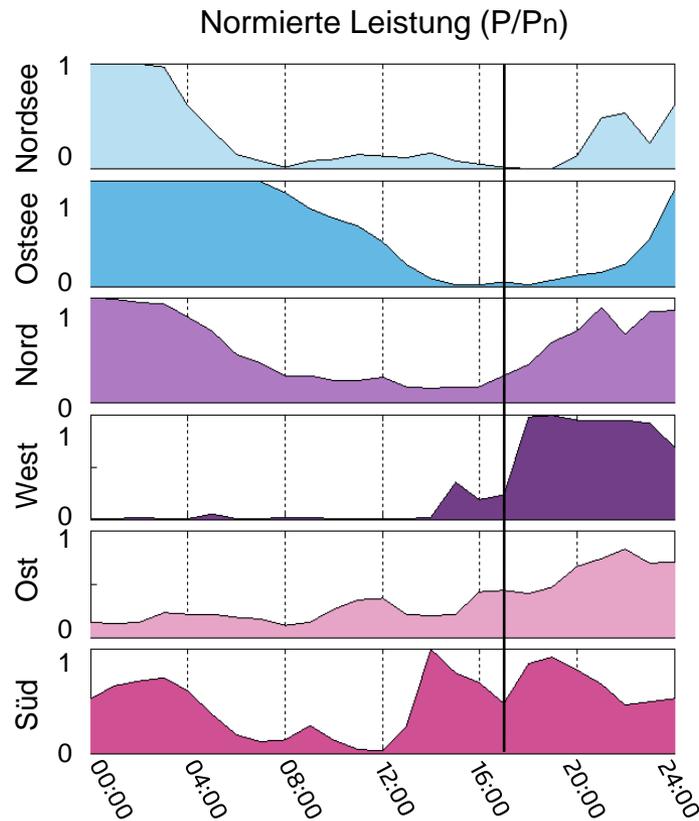
16:00



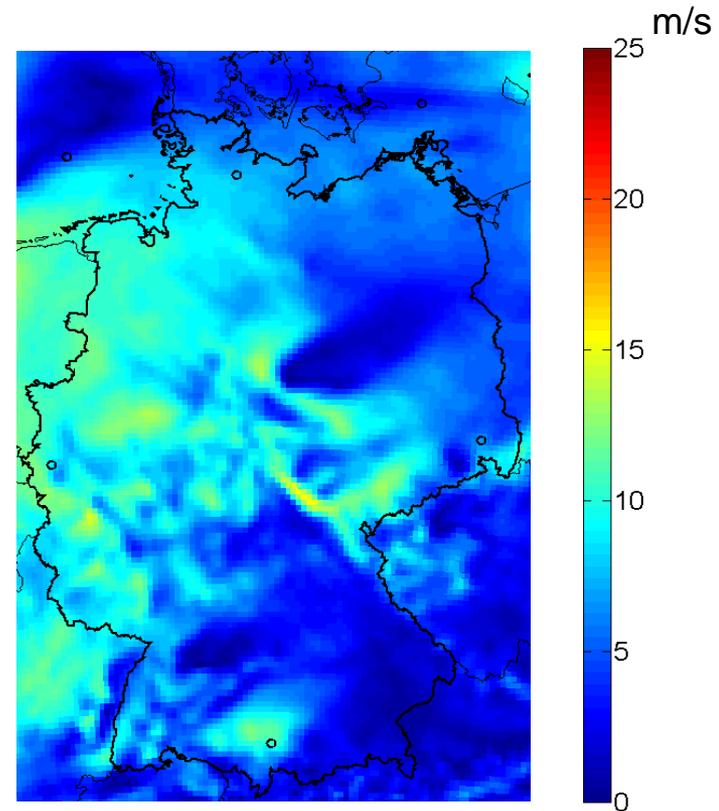
Fraunhofer IWES, auf Basis von Analysedaten des COSMO-DE-Modells des DWD, meteorologisches Jahr 2011

Einspeisung aus Windenergieanlagen an den 6 betrachteten Standorten

3. Kalenderwoche, Montag, 00:00 bis 24:00 Uhr



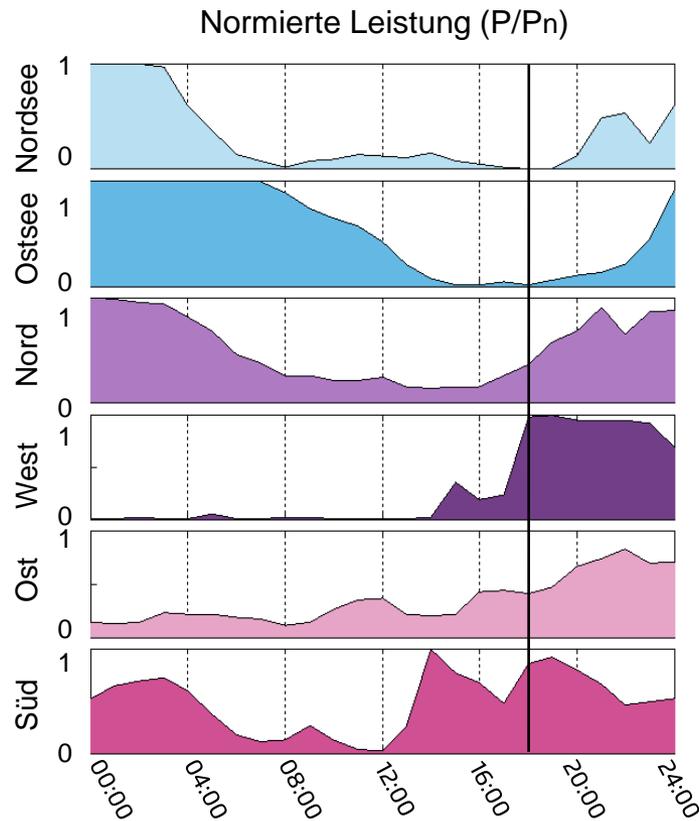
17:00



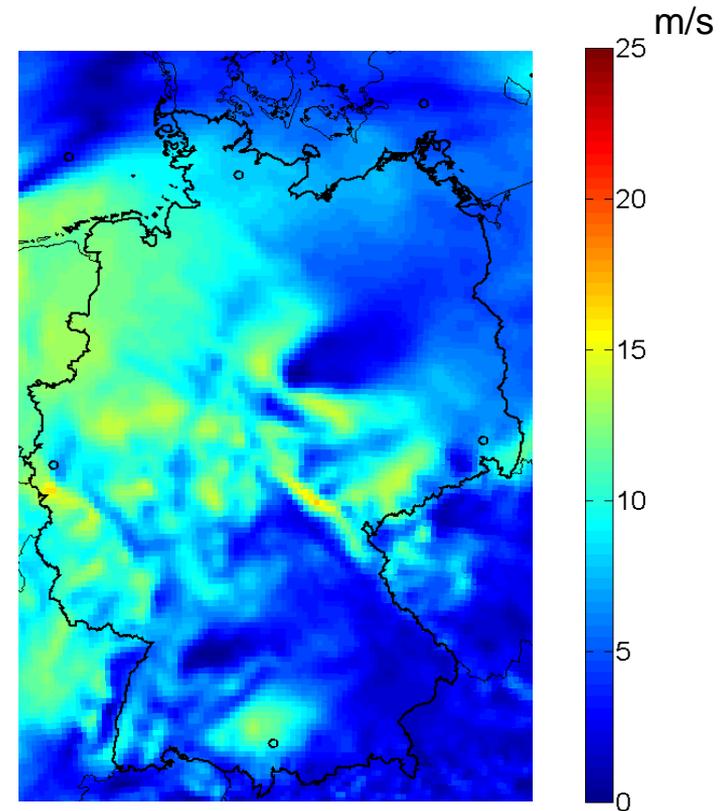
Fraunhofer IWES, auf Basis von Analysedaten des COSMO-DE-Modells des DWD, meteorologisches Jahr 2011

Einspeisung aus Windenergieanlagen an den 6 betrachteten Standorten

3. Kalenderwoche, Montag, 00:00 bis 24:00 Uhr



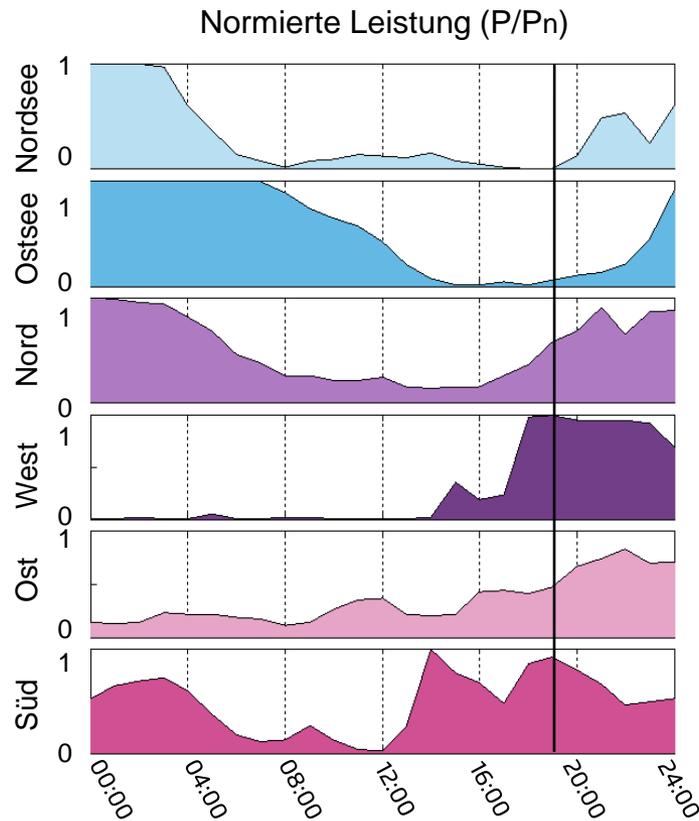
18:00



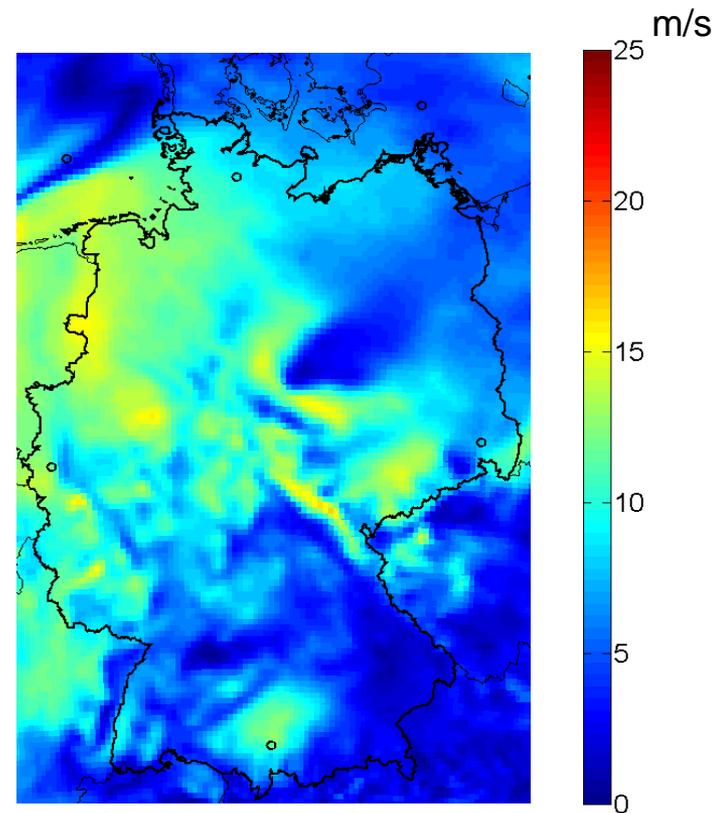
Fraunhofer IWES, auf Basis von Analysedaten des COSMO-DE-Modells des DWD, meteorologisches Jahr 2011

Einspeisung aus Windenergieanlagen an den 6 betrachteten Standorten

3. Kalenderwoche, Montag, 00:00 bis 24:00 Uhr



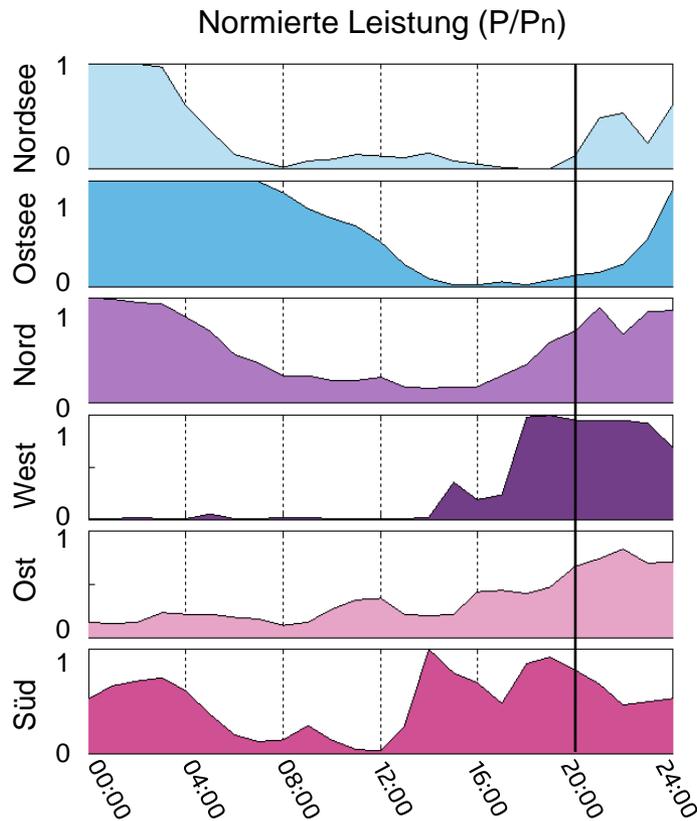
19:00



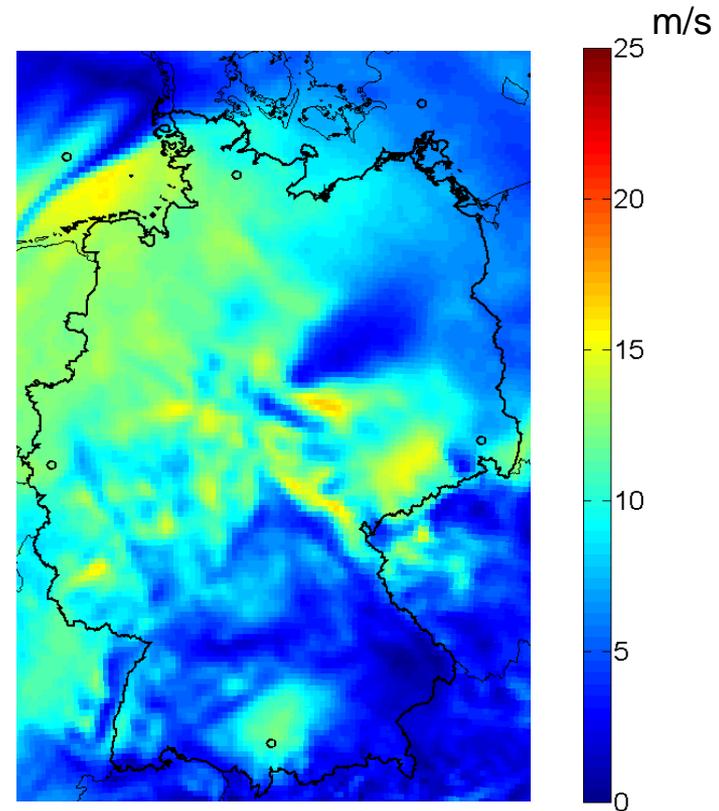
Fraunhofer IWES, auf Basis von Analysedaten des COSMO-DE-Modells des DWD, meteorologisches Jahr 2011

Einspeisung aus Windenergieanlagen an den 6 betrachteten Standorten

3. Kalenderwoche, Montag, 00:00 bis 24:00 Uhr



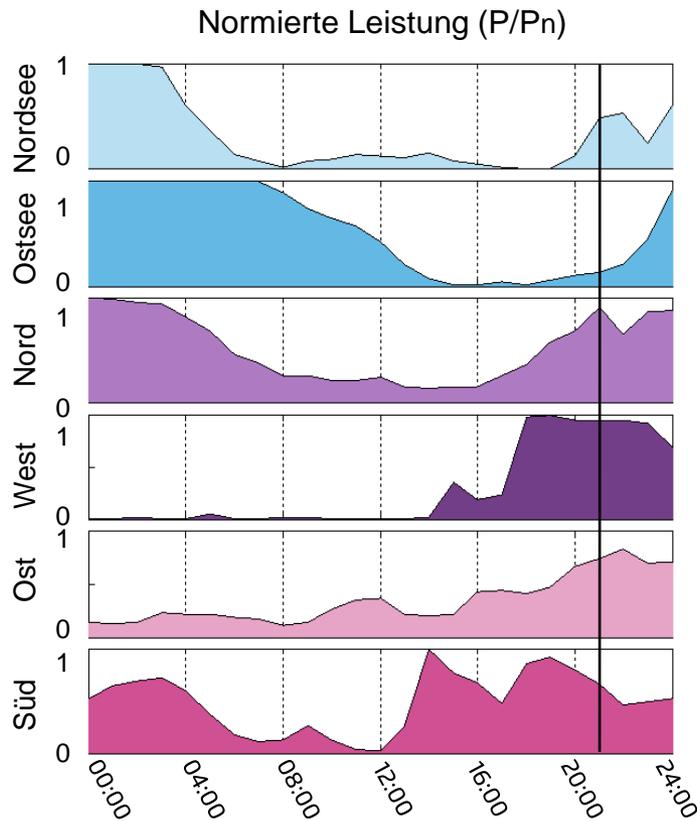
20:00



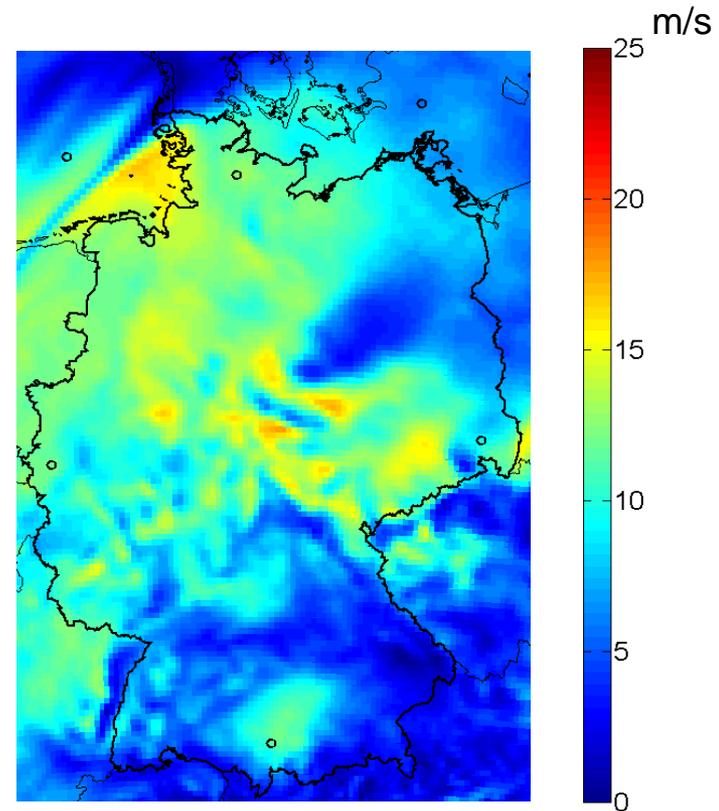
Fraunhofer IWES, auf Basis von Analysedaten des COSMO-DE-Modells des DWD, meteorologisches Jahr 2011

Einspeisung aus Windenergieanlagen an den 6 betrachteten Standorten

3. Kalenderwoche, Montag, 00:00 bis 24:00 Uhr



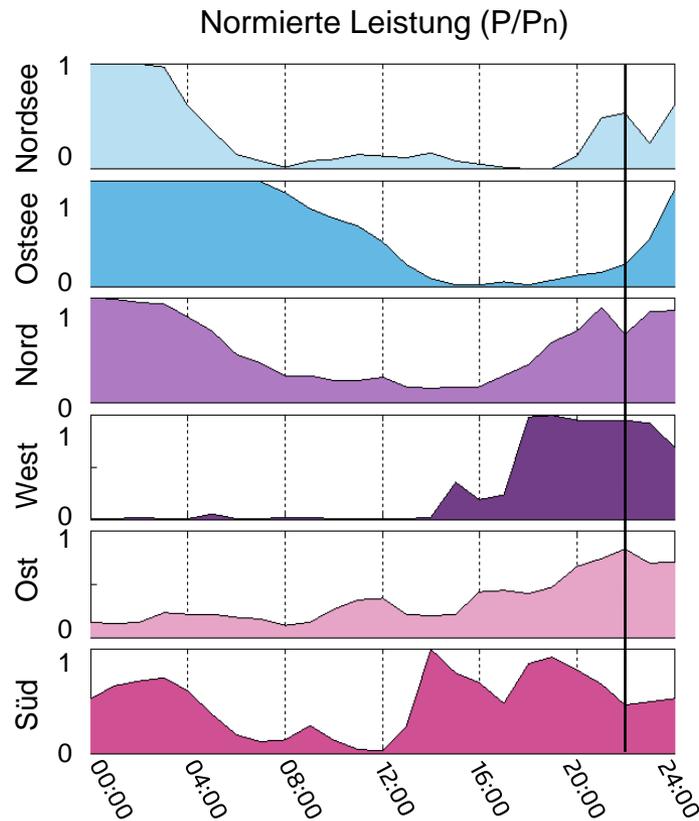
21:00



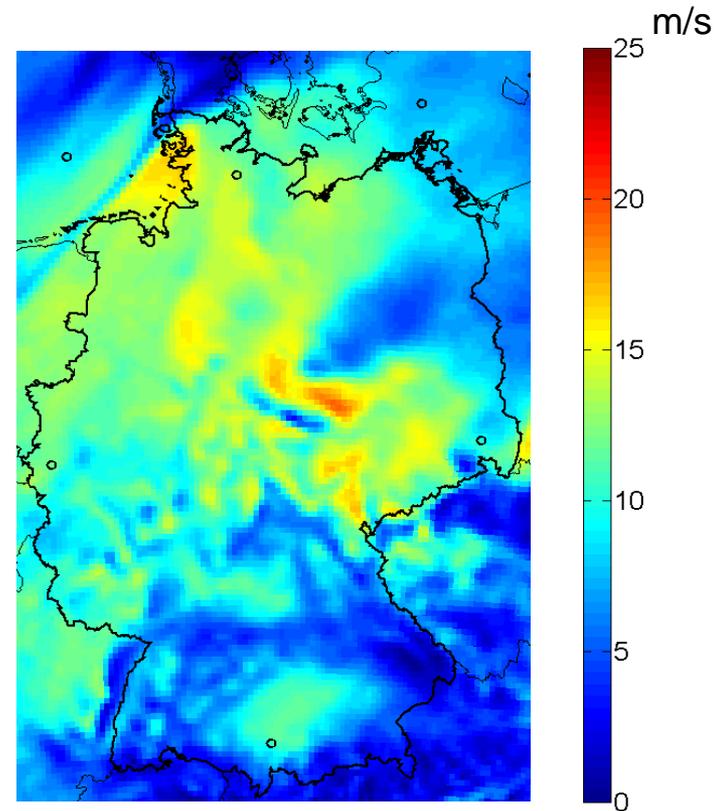
Fraunhofer IWES, auf Basis von Analysedaten des COSMO-DE-Modells des DWD, meteorologisches Jahr 2011

Einspeisung aus Windenergieanlagen an den 6 betrachteten Standorten

3. Kalenderwoche, Montag, 00:00 bis 24:00 Uhr



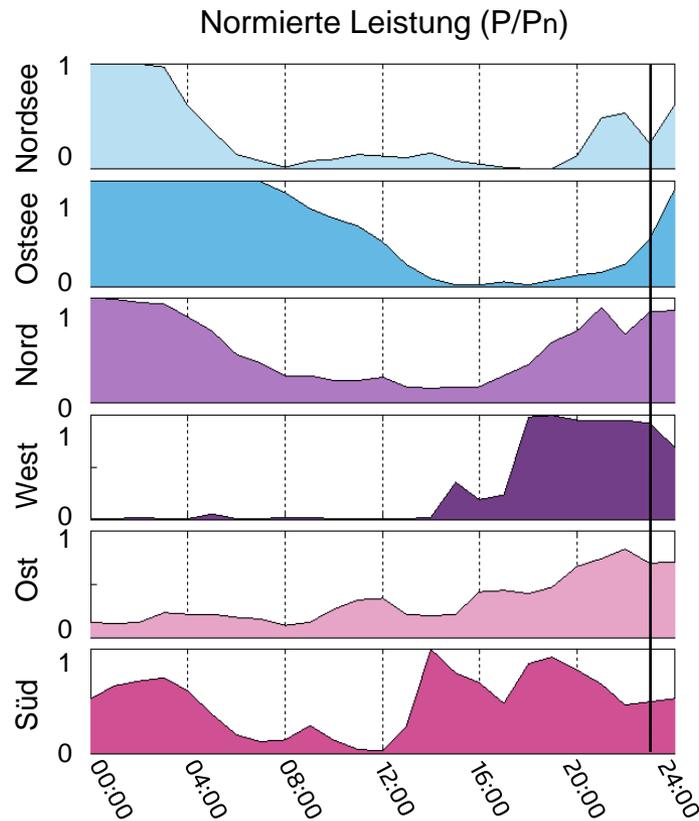
22:00



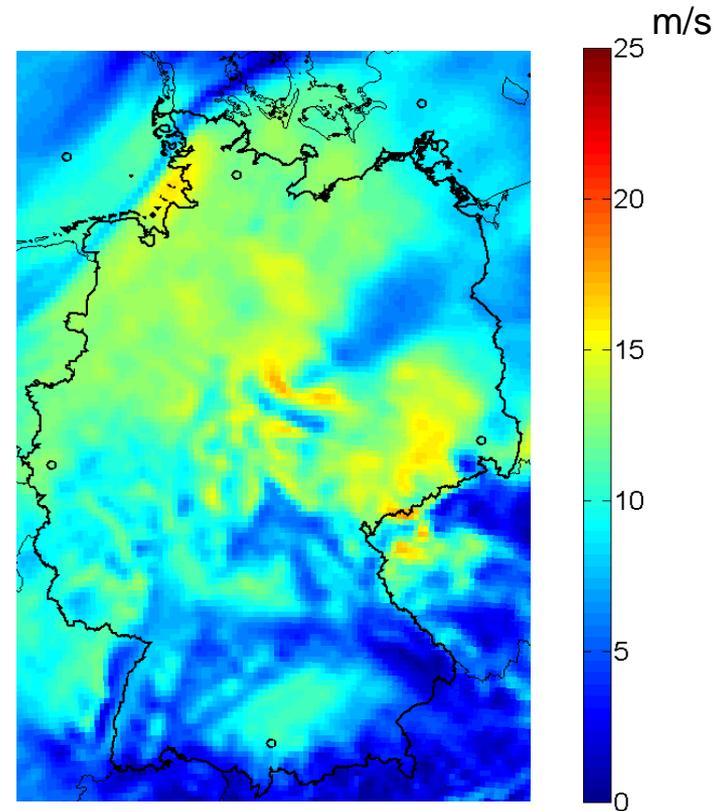
Fraunhofer IWES, auf Basis von Analysedaten des COSMO-DE-Modells des DWD, meteorologisches Jahr 2011

Einspeisung aus Windenergieanlagen an den 6 betrachteten Standorten

3. Kalenderwoche, Montag, 00:00 bis 24:00 Uhr



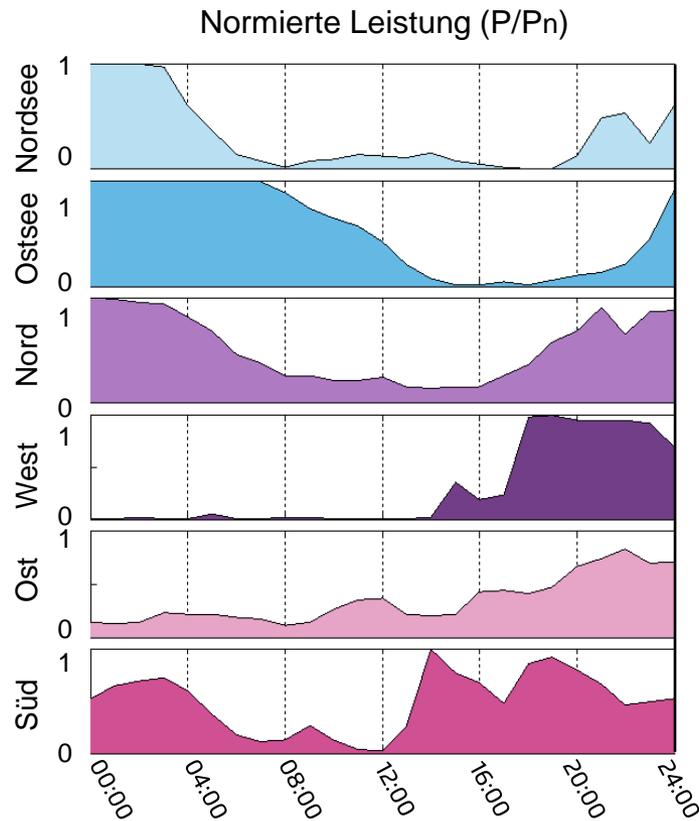
23:00



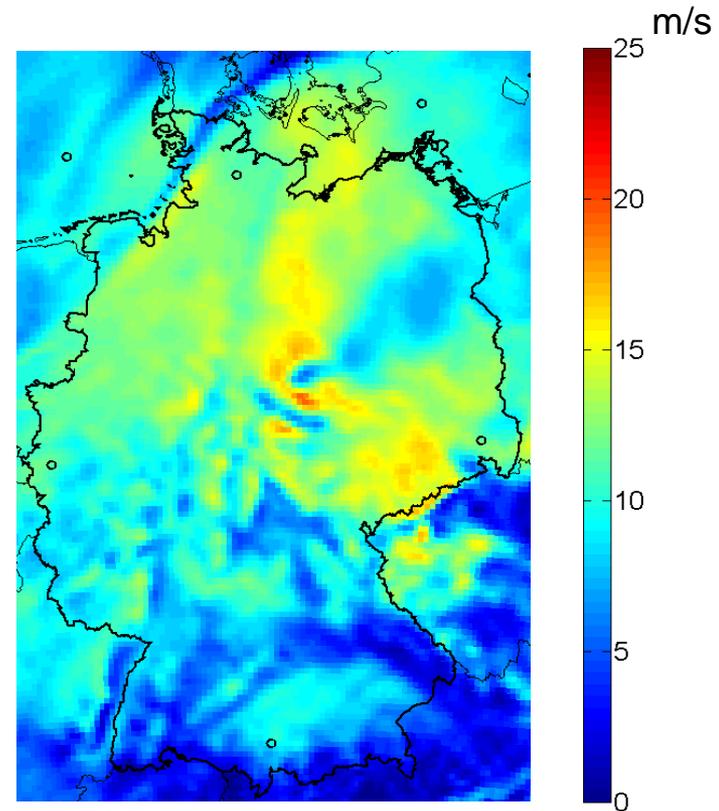
Fraunhofer IWES, auf Basis von Analysedaten des COSMO-DE-Modells des DWD, meteorologisches Jahr 2011

Einspeisung aus Windenergieanlagen an den 6 betrachteten Standorten

3. Kalenderwoche, Montag, 00:00 bis 24:00 Uhr

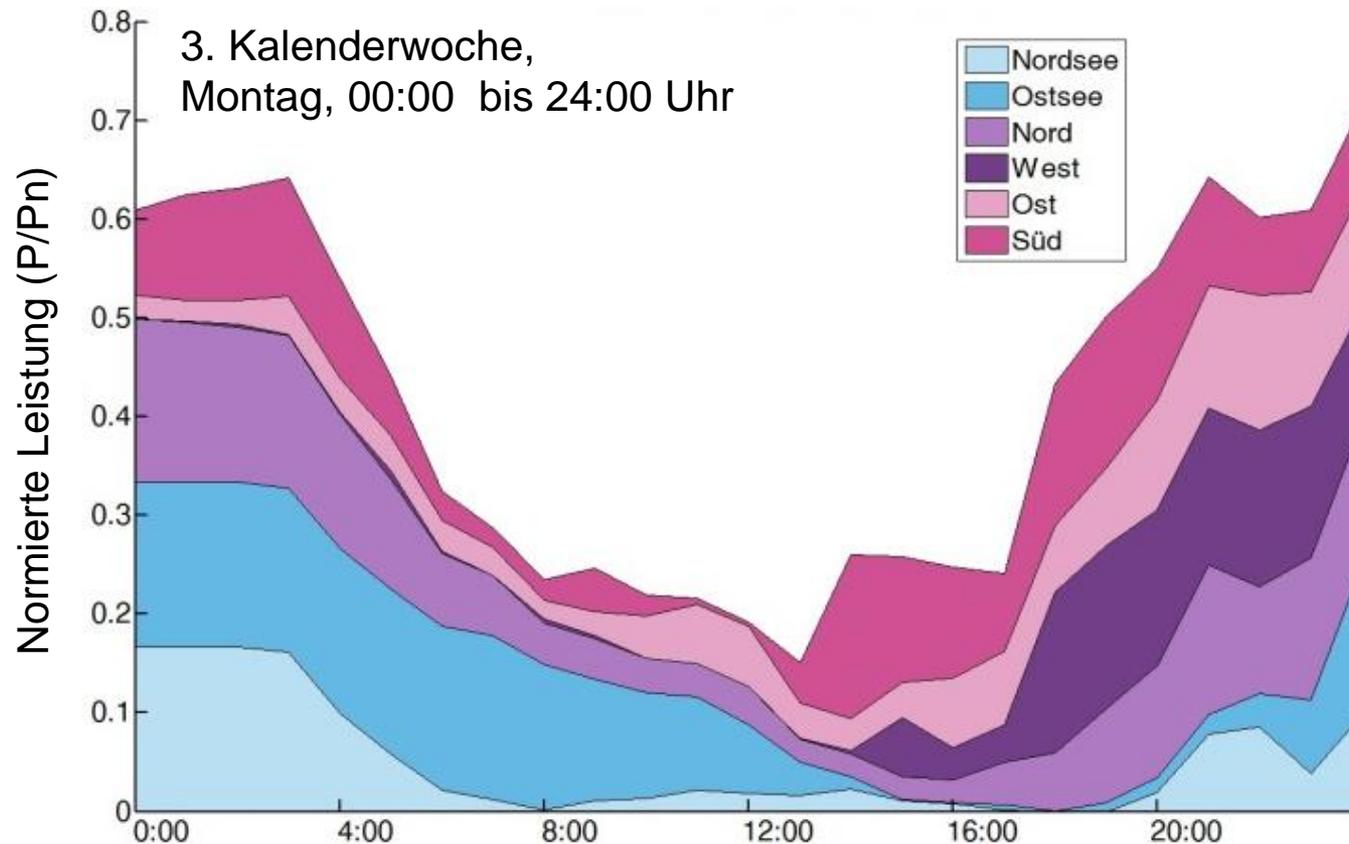


24:00



Fraunhofer IWES, auf Basis von Analysedaten des COSMO-DE-Modells des DWD, meteorologisches Jahr 2011

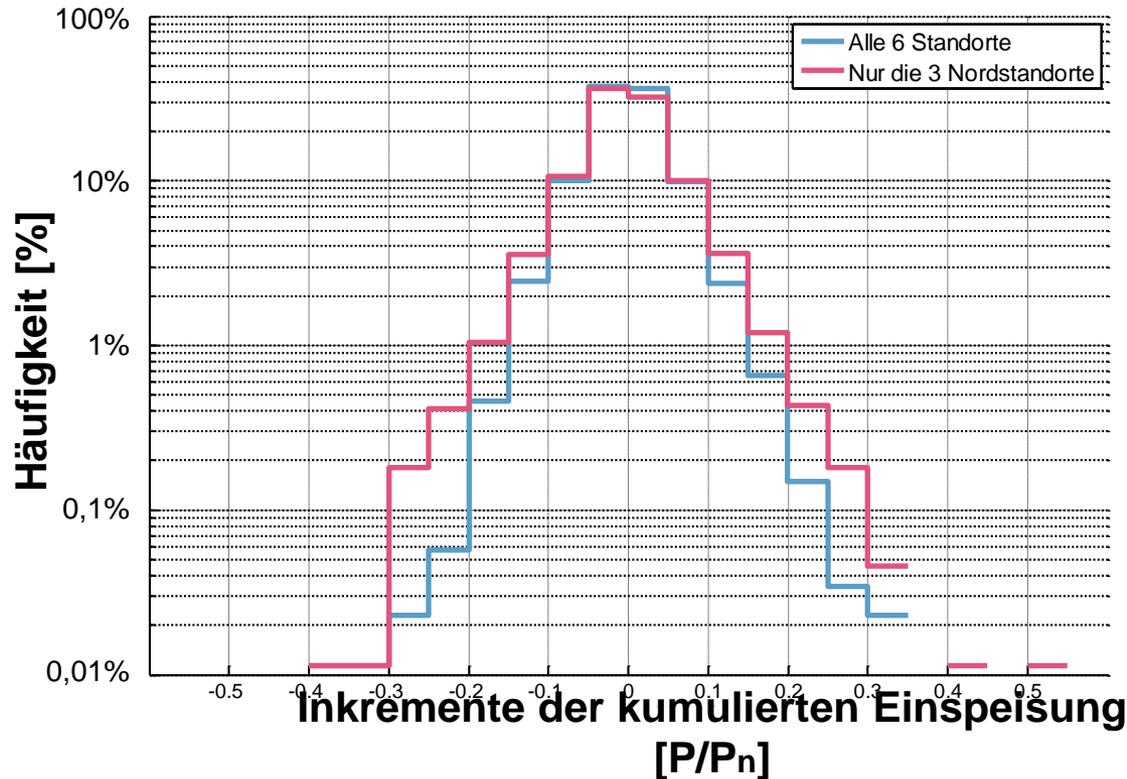
Einspeisung am Montag der 3. Kalenderwoche (aufsummierte Darstellung)



Fraunhofer IWES, Datenbasis DWD

Häufigkeitsverteilung der Gradienten der Einspeisung aus Windenergieanlagen

Drei Nordstandorte im Vergleich zur kumulierten Einspeisung an allen sechs Standorten

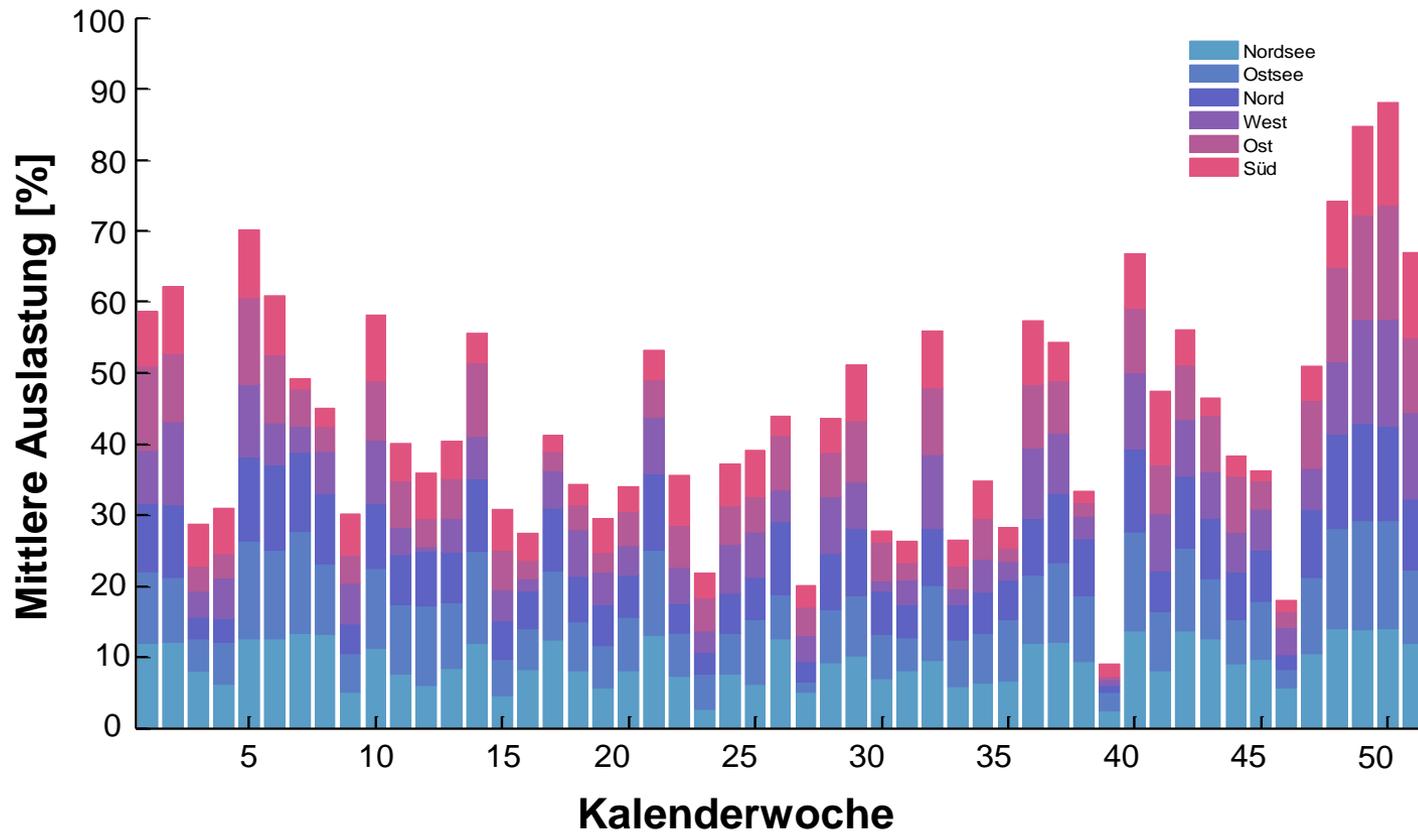


Abnahme der Einspeiseleistung um 30% innerhalb einer Stunde:

3 Nordstandorte:
17 Ereignisse pro Jahr

Alle 6 Standorte:
2 Ereignisse pro Jahr

Mittlere Auslastung der Windenergieanlagen an den sechs Standorten je Woche



Fraunhofer IWES, Datenbasis DWD

Vielen Dank!

Dr. Carsten Pape

Fraunhofer-Institut für Windenergie und Energiesystemtechnik, IWES

Königstor 59

34119 Kassel

Tel.: +49 (0) 561 7294-265

Email: [carsten.pape\(at\)iwes.fraunhofer.de](mailto:carsten.pape@iwes.fraunhofer.de)