

# Referenz-Zeitreihen von Wind- und PV-Stromeinspeisung für das Jahr 2050

zur Verwendung in deutschen Stromsystem-Modellen

**Jens Tambke, Hauke Wurps** (Wind)

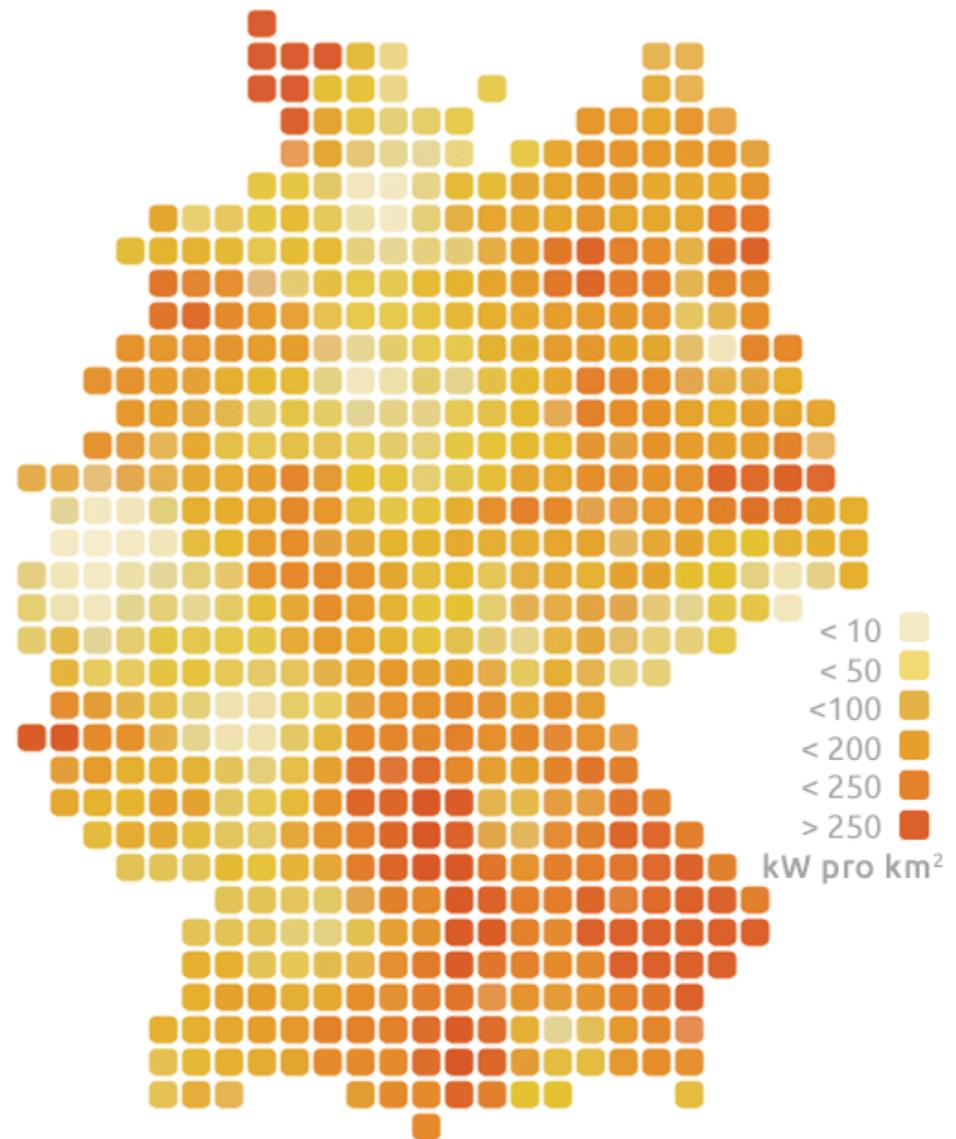
**K. Nag, A. Hammer, L. v. Bremen, E. Lorenz** (PV)

# Überblick

- PV-Zeitreihen
- EE-Ausbau-Szenarien 2020 / '30 / '40 / '50
- Onshore-Wind-Zeitreihen
- Offshore-Wind-Zeitreihen

# PV-Zeitreihen

- Strahlungsdaten vom METEOSAT
- HELIOSAT-Methode:  
Solarstrahlungswerte auf  
horizontalen Flächen
- Umrechnung auf geneigte  
Empfängerflächen
- Berechnung der vom PV-System  
abgegebenen Leistung
- Aggregation für die einzelnen  
Bundesländer

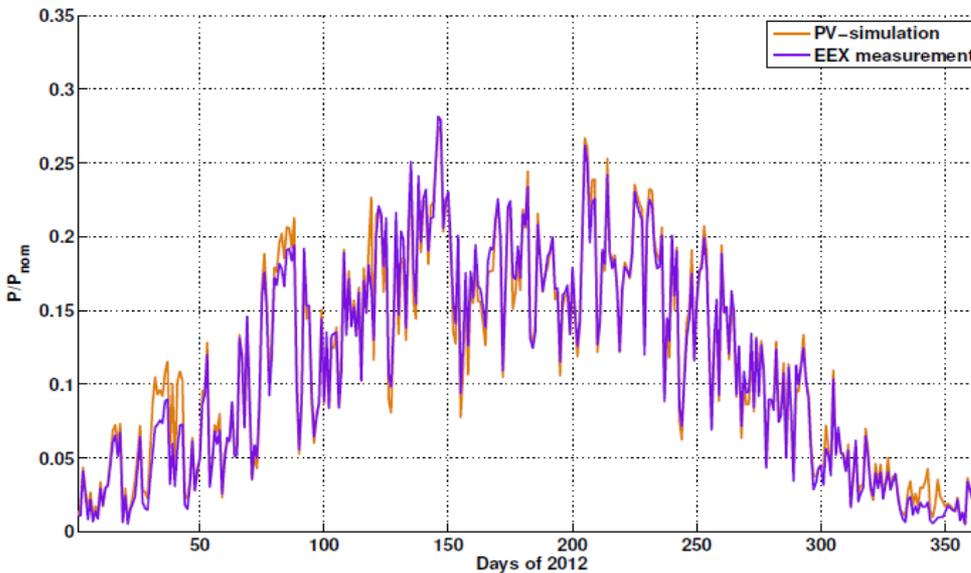
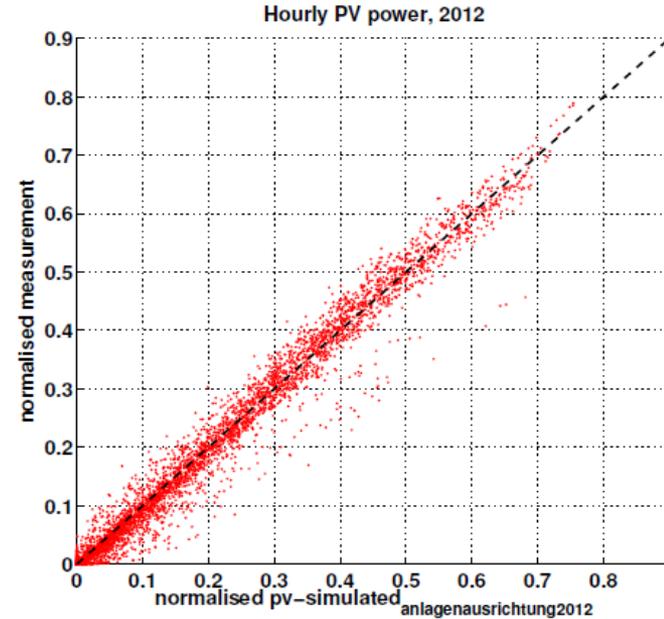
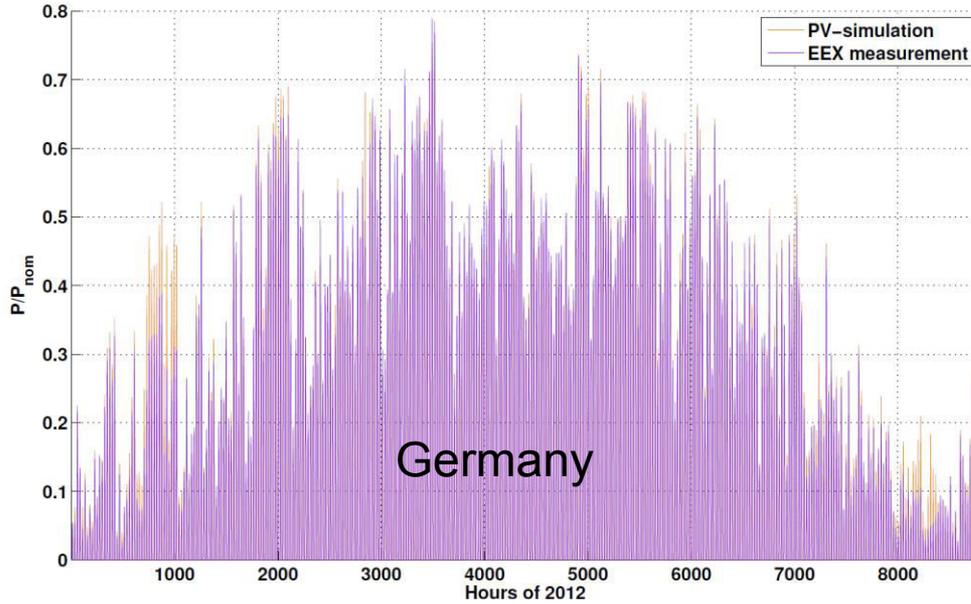


Regionale Verteilung der installierten Photovoltaik-Leistung pro km<sup>2</sup> (2014).  
Quellen: [strom-report.de](http://strom-report.de), Bundesnetzagentur, BSW Solar.

# PV-Zeitreihen für 2011 und 2012

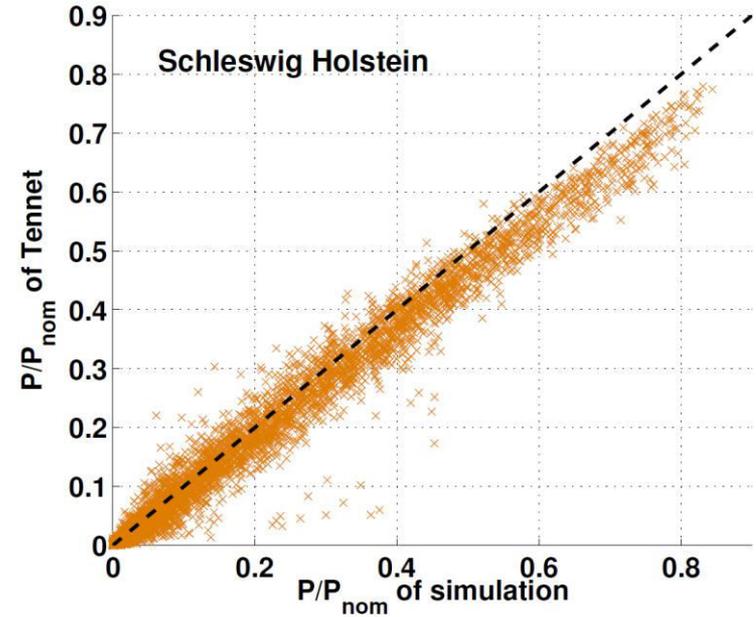
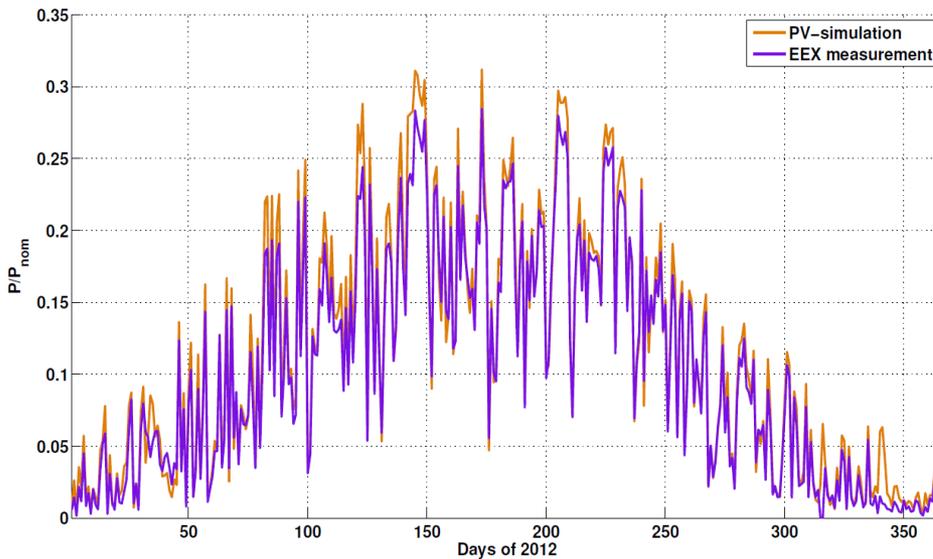
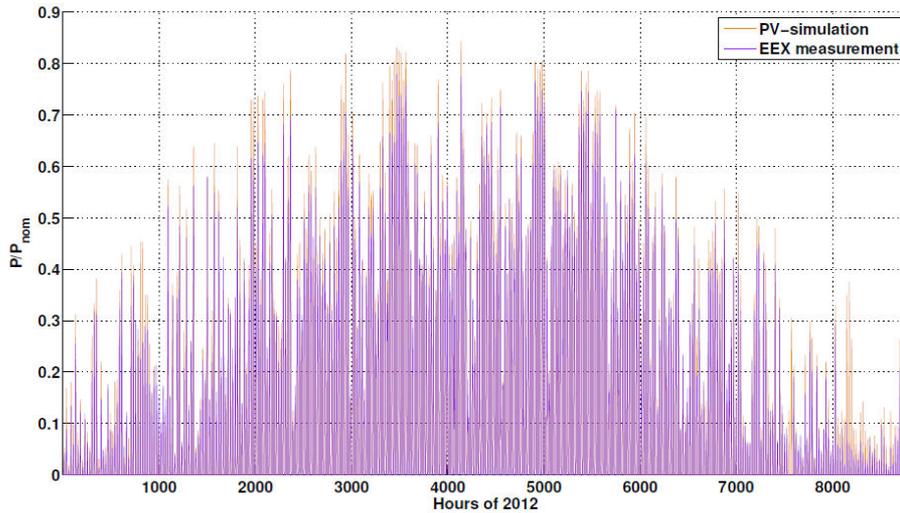
- geostationärer Wettersatellit METEOSAT (Meteosat Second Generation)
  - 15-minütige Reflektivitätswerte im sichtbaren Spektralbereich
  - räumlichen Auflösung von 1km x 1km (Pixel) am Subsatellitenpunkt
  - Auflösung für Deutschland ca. 1,2 km x 1,8 km – ca. 150.000 Pixel
- *Cloud Index: Bewölkungsgrad* (0 = wolkenfrei, 1 = maximal bewölkt)
- *Clearsky Index*: relative Abweichung der tatsächlichen Einstrahlung von einer aus einem Modell abgeleiteten theoretischen Einstrahlung bei wolkenfreiem Himmel
- Weitere Eingangsdaten: Temperatur, Gehalt an Wasserdampf und Aerosol
- *Performance Ratio*:
  - 0.8 für zukünftige Anlagen, umfasst:
  - Modultemperatur, Solarstrahlung, Verschattungen, Verschmutzung, Wirkungsgrad, Leitungsverluste, Wechselrichterverluste, Spektraleffekte

# PV-Zeitreihen – Evaluierung für 2012



DE	RMSE	Rel. RMSE	Corr. Coeff.
Hourly	2.1%	18.8%	0.993
Daily	1.0%	9.1%	0.990

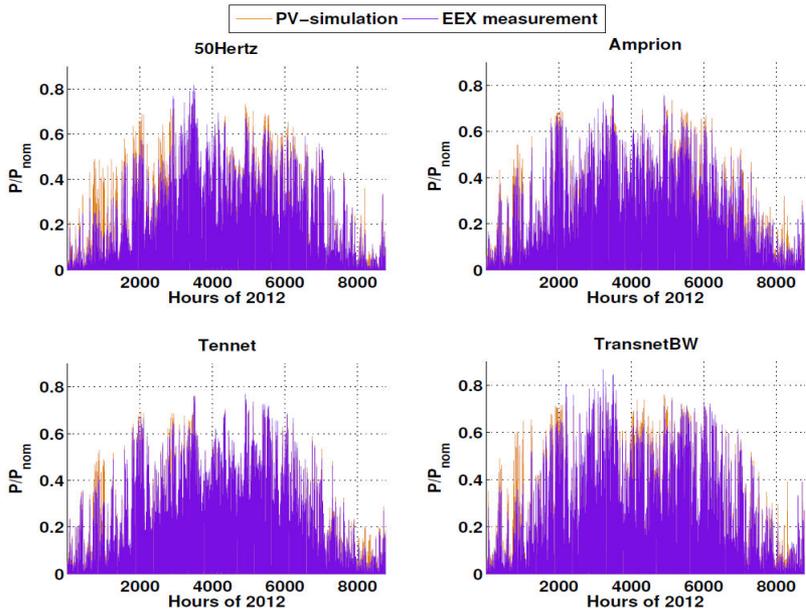
# PV-Zeitreihen – Evaluierung für 2012



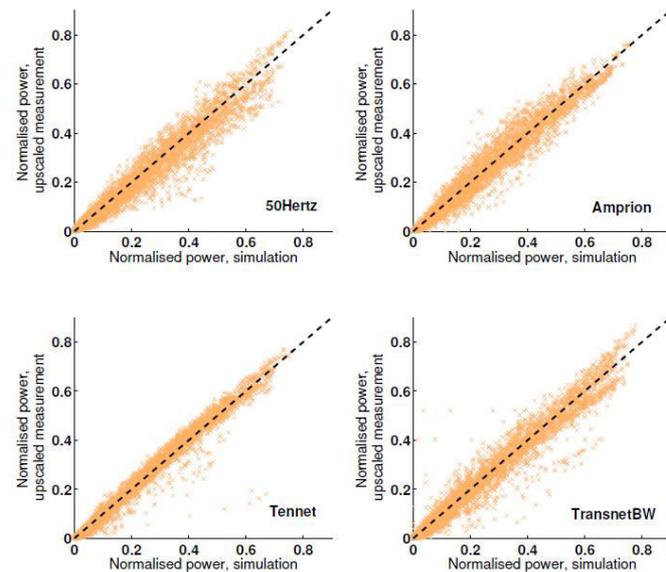
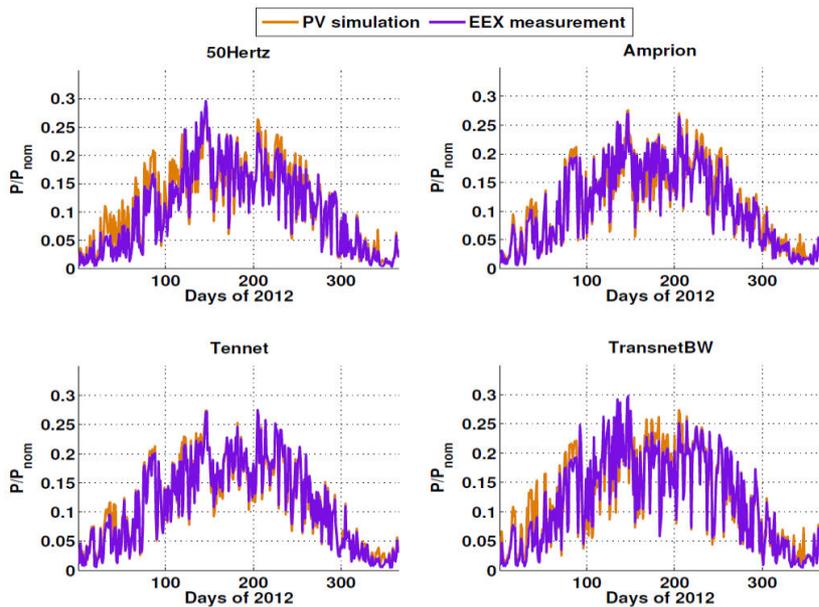
SH	RMSE	Rel. RMSE	Corr. Coeff.
Hourly	2.7%	26.5%	0.992
Daily	1.5%	14.6%	0.991

Schleswig Holstein

# PV-Zeitreihen – Evaluierung für 2012



Hourly	RMSE	Rel. RMSE	Corr. Coeff.
50Hertz	3.3%	31.6%	0.983
Tennet	2.1%	19.1%	0.992
Amprion	2.8%	25.4%	0.987
Transnet BW	3.3%	27.5%	0.985



# Ausbau-Szenarien für PV- und Windenergie-Anlagen

# PV-Ausbau

## Ausbaukorridor für PV und dessen räumliche Aufteilung auf die Bundesländer

	2013	2020	2030	2040	2050
<b>Deutschland</b>	<b>35,3 GW</b>	<b>53 GW</b>	<b>75 GW</b>	<b>97 GW</b>	<b>120 GW</b>
BW	13,0%	11,5%	11,5%	11,5%	11,5%
BY	29,8%	27,6%	27,6%	27,2%	27,0%
BE	0,3%	0,2%	0,2%	0,3%	0,4%
BB	7,4%	8,2%	8,0%	8,1%	8,1%
HB	0,3%	0,2%	0,4%	0,3%	0,4%
HH	0,0%	0,0%	0,2%	0,2%	0,2%
HE	4,5%	4,7%	4,7%	4,8%	4,8%
MV	2,8%	3,7%	3,6%	3,6%	3,6%
NI	9,4%	9,9%	9,8%	10,0%	10,0%
NW	11,3%	10,8%	10,7%	11,0%	11,0%
RP	5,1%	5,3%	5,2%	5,3%	5,3%
SL	1,1%	1,1%	1,1%	1,0%	1,0%
SN	4,0%	4,4%	4,5%	4,5%	4,5%
ST	4,2%	4,9%	5,0%	4,9%	5,0%
SH	4,0%	4,6%	4,5%	4,5%	4,3%
TH	2,8%	2,9%	3,0%	2,8%	2,9%

# Onshore- Wind- Ausbau

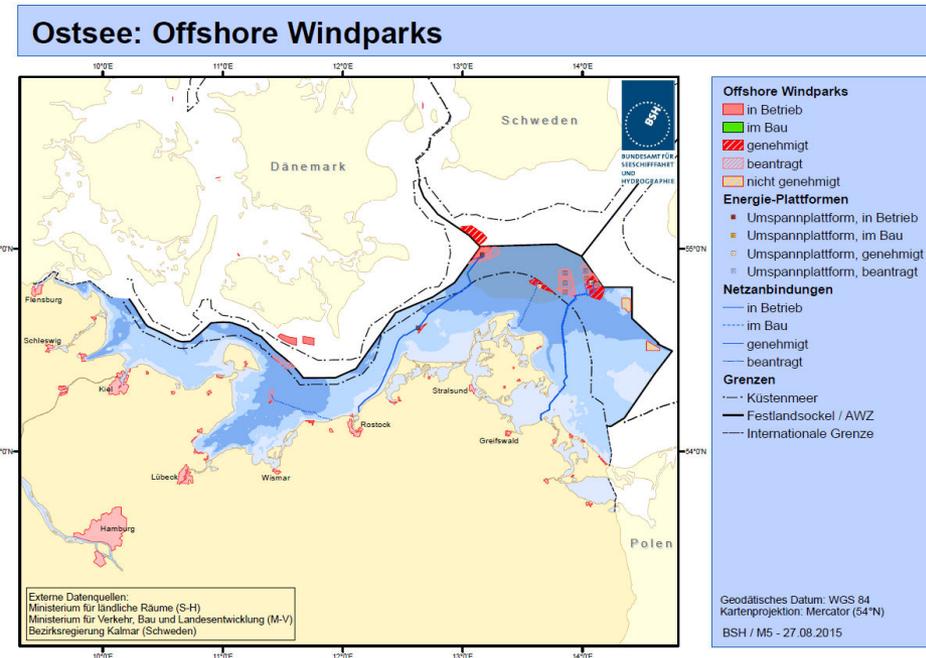
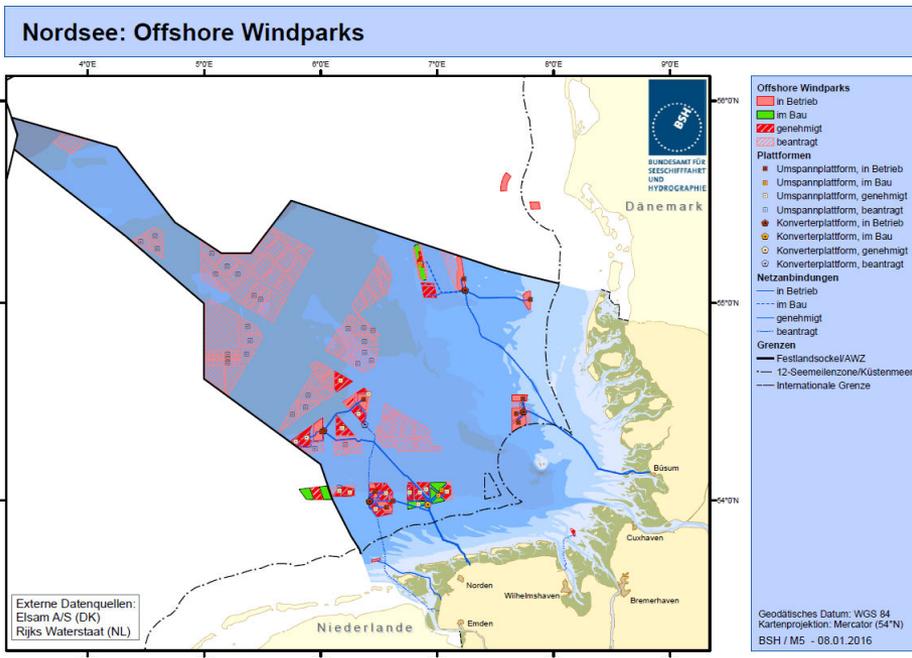
## Ausbaukorridor für Wind Onshore und dessen räumliche Aufteilung auf die Bundesländer

	2013	2020	2030	2040	2050
<b>Deutschland</b>	<b>33,7 GW</b>	<b>50 GW</b>	<b>70 GW</b>	<b>80 GW</b>	<b>90 GW</b>
NI	22,3 %	20 %	19,3 %	18,5 %	17,6 %
SH	11,2 %	11,4 %	11,9 %	12,4 %	12,8 %
MV	6,6 %	7,7 %	8,8 %	9,8 %	10,8 %
HB	0,6 %	0,4 %	0,3 %	0,2 %	0,2 %
HH	0,3 %	0,2 %	0,2 %	0,2 %	0,1 %
BB	15,3 %	13,6 %	12,8 %	12,0 %	11,1 %
ST	12,3 %	9,1 %	8,1 %	7,0 %	6,0 %
NW	10,2 %	11,1 %	11,6 %	12,0 %	12,5 %
SN	3,0 %	2,6 %	2,3 %	2,0 %	1,7 %
TH	3,2 %	3,7 %	3,8 %	4,0 %	4,1 %
HE	2,8 %	3,4 %	3,5 %	3,7 %	4,0 %
BE	0,01 %	0,01 %	0,01 %	0,01 %	0,01 %
RP	6,6 %	8,2 %	7,6 %	7 %	6,4 %
BY	3,2 %	4,5 %	5,0 %	5,5 %	6,1 %
BW	1,8 %	3,5 %	4,3 %	5,3 %	6,2 %
SL	0,6 %	0,6 %	0,5 %	0,4 %	0,4 %

# Offshore-Wind-Ausbau

## Ausbaukorridor für Wind Offshore und dessen räumliche Aufteilung auf die Bundesländer

	2014	2020	2030	2040	2050
<b>Deutschland</b>	<b>0,9 GW</b>	<b>6,8 GW</b>	<b>15 GW</b>	<b>24 GW</b>	<b>33 GW</b>
NI (Nordsee)		4,2 GW	9,7 GW	15 GW	21 GW
SH (Nordsee)		1,8 GW	3,0 GW	5 GW	6 GW
MV (Ostsee)		0,8 GW	2,3 GW	4 GW	5 GW



# Modellierung der Wind-Einspeisung für das Windjahr 2011

- Mesoskalige Wettermodellierung (WRF)
- (Regionale) Leistungskurven
- Leistungs-Zeitreihen
  - für die 4 ÜNB-Zonen zur Evaluierung 2011
  - für die Bundesländer 2020 - 2050
- Zeitreihen 2020-2050

# Meso-Skala-Modell WRF

Initialization: ECMWF –  
ERA interim

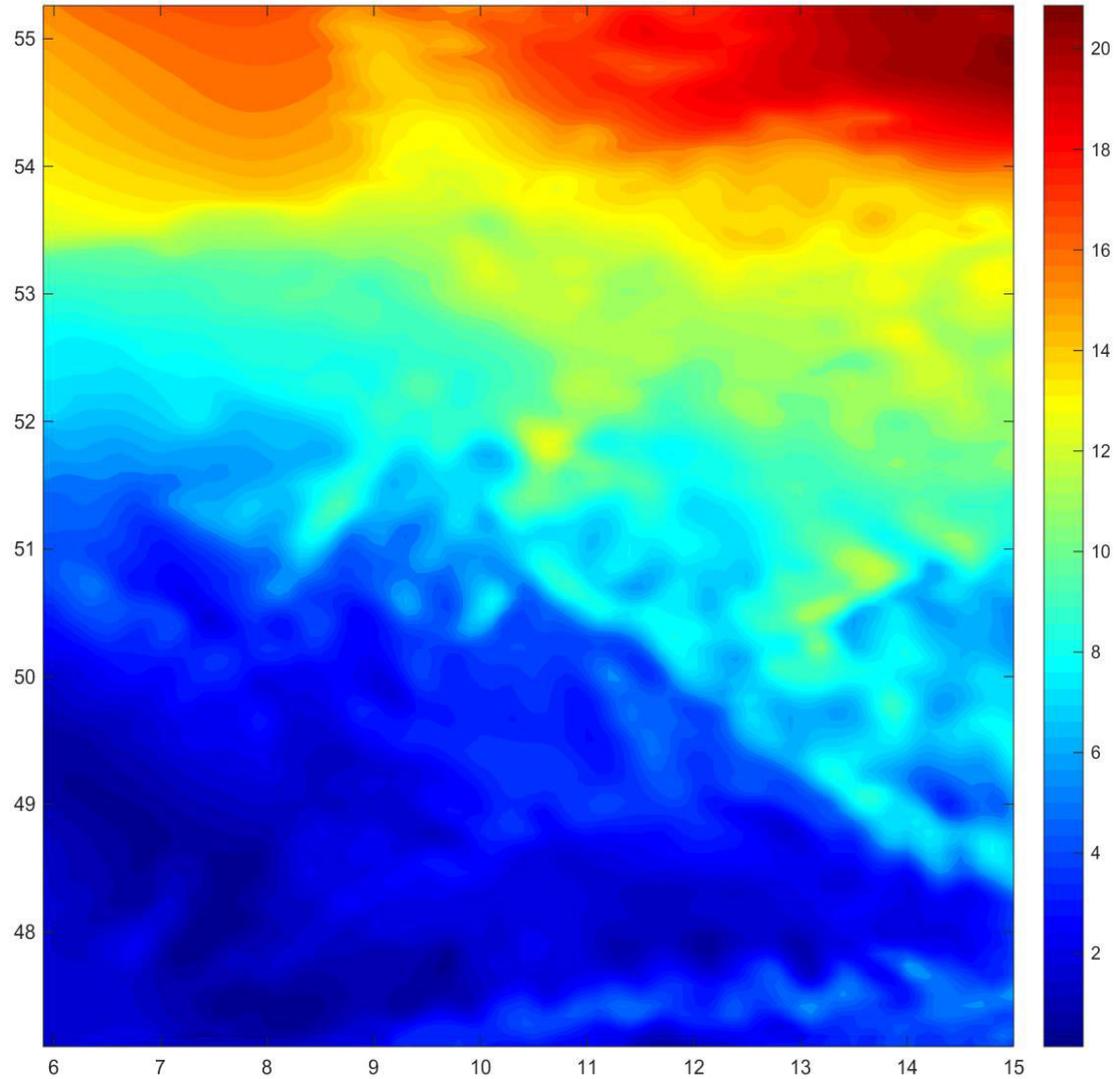
3-domain-setup, one-way-nesting

1<sup>st</sup> domain: 27 x 27 km<sup>2</sup>

2<sup>nd</sup> domain: 9 x 9 km<sup>2</sup>

3<sup>rd</sup> domain: 3 x 3 km<sup>2</sup>

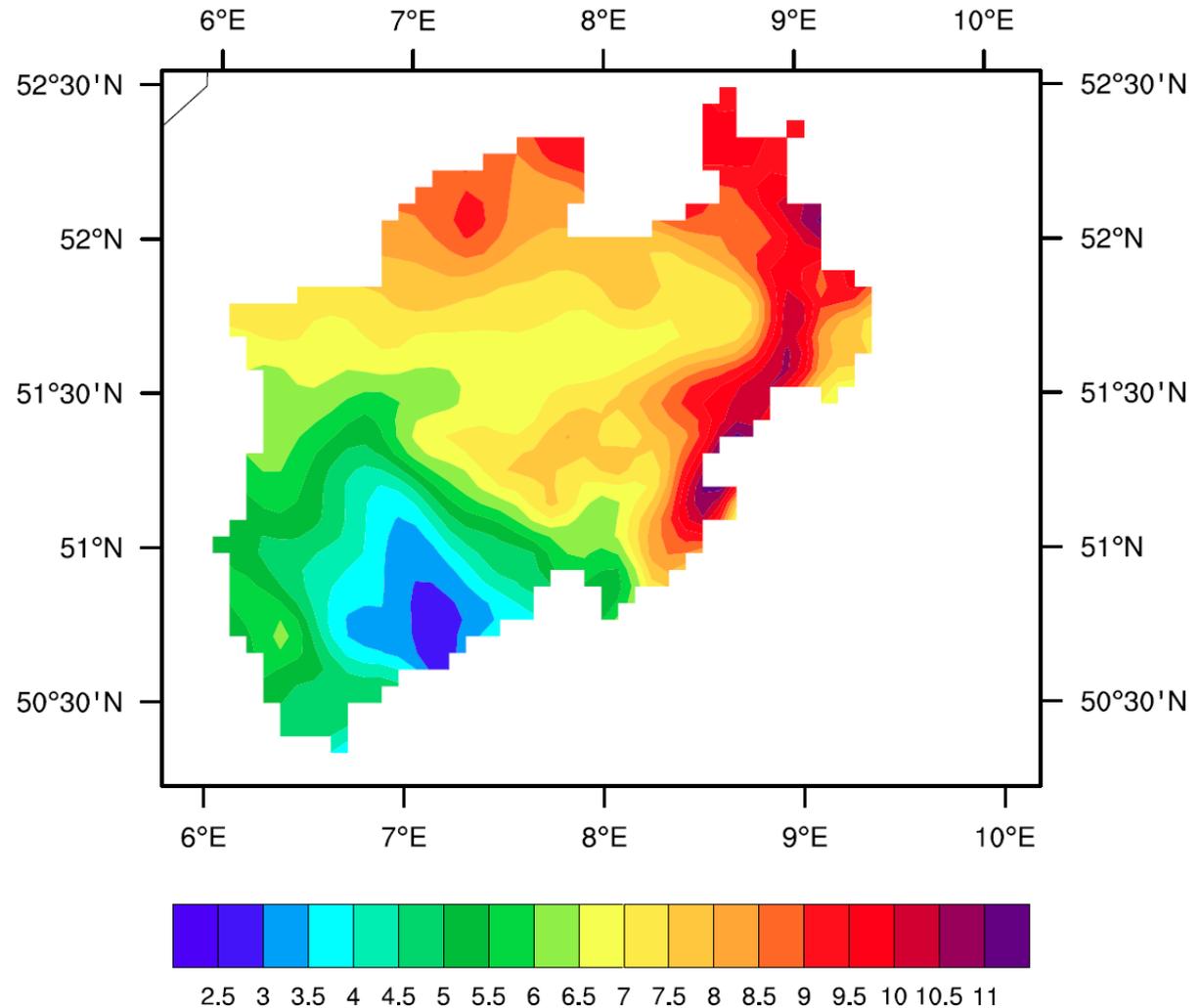
PBL-Scheme: MYNN



Windfeld über Deutschland, 1.1.2011 in 100m Höhe

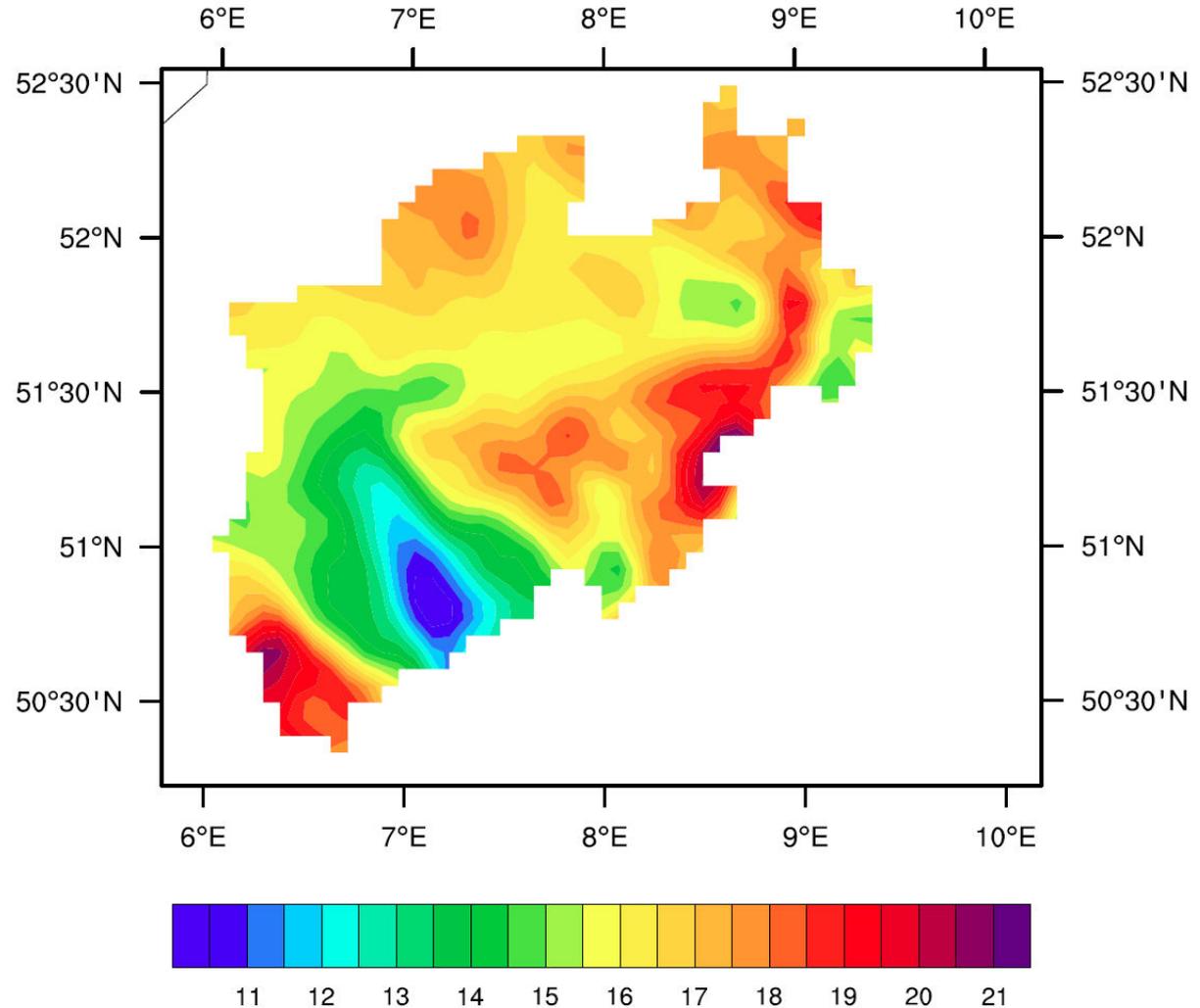
# Windfeld über NRW, Wind in 100m

Nordrhein-Westfalen 1 Jan 2011, 8:00, 100m



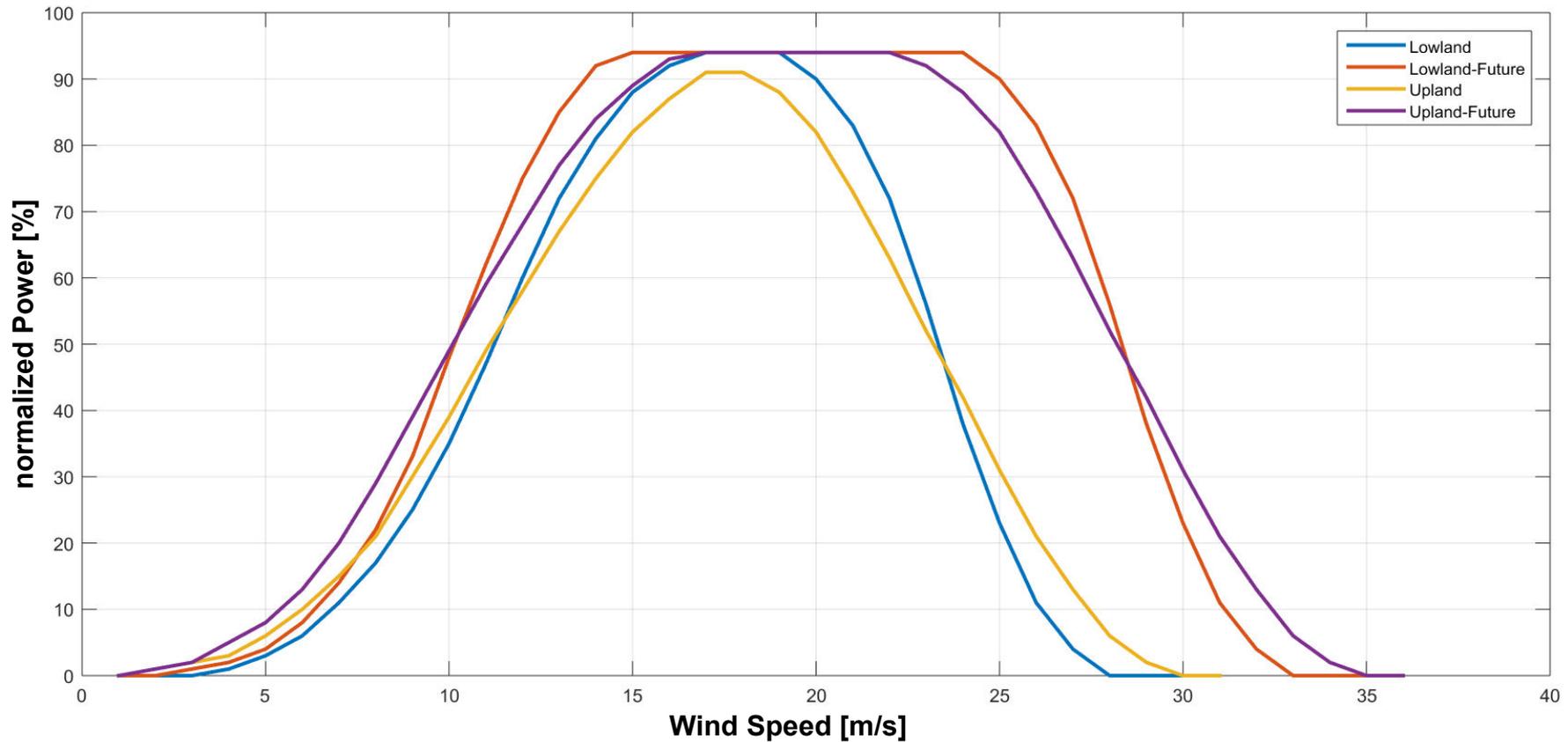
# Windfeld über NRW, Wind in 100m

Nordrhein-Westfalen 5 Feb 2011, 10:00, 100m

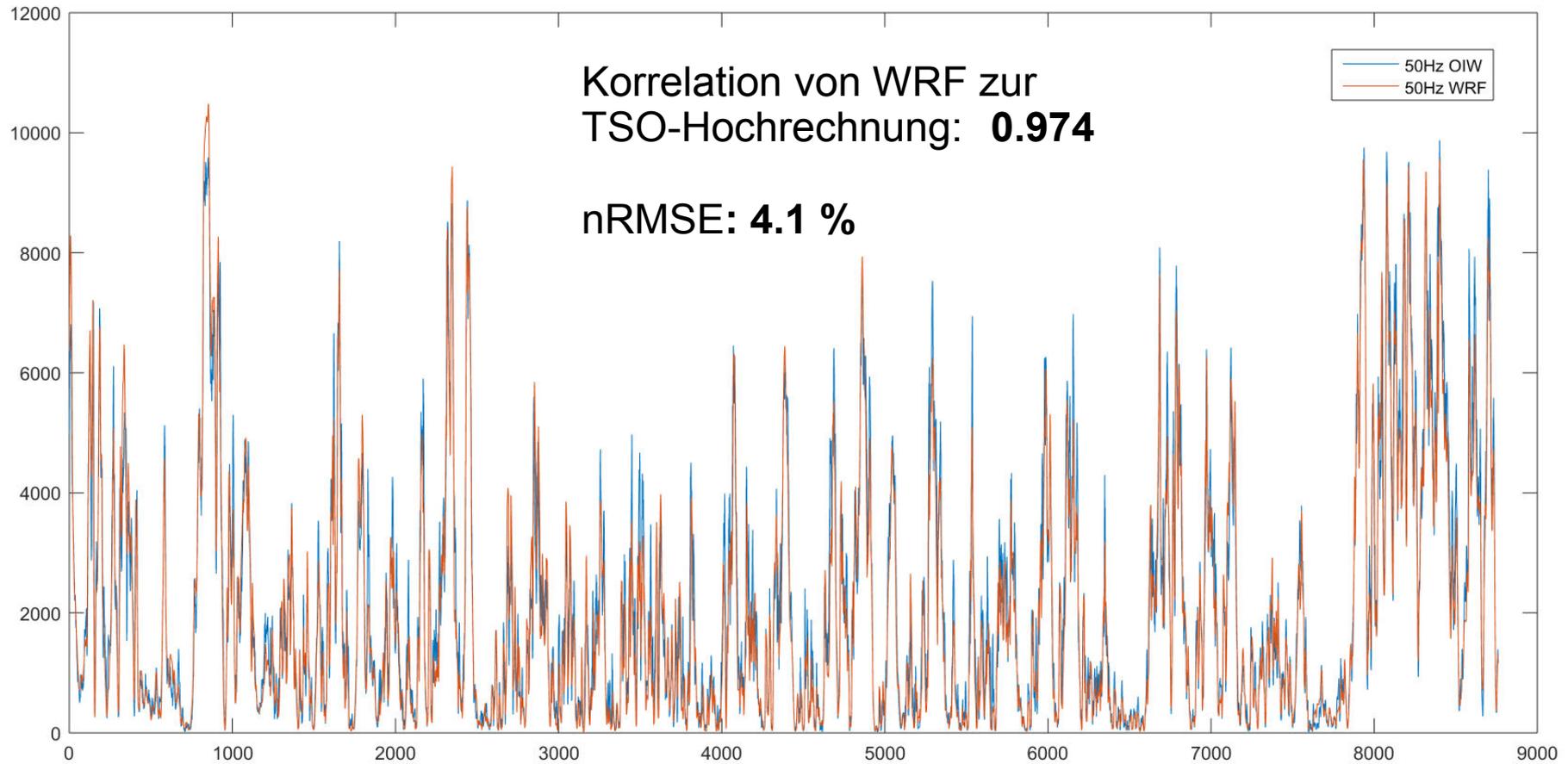


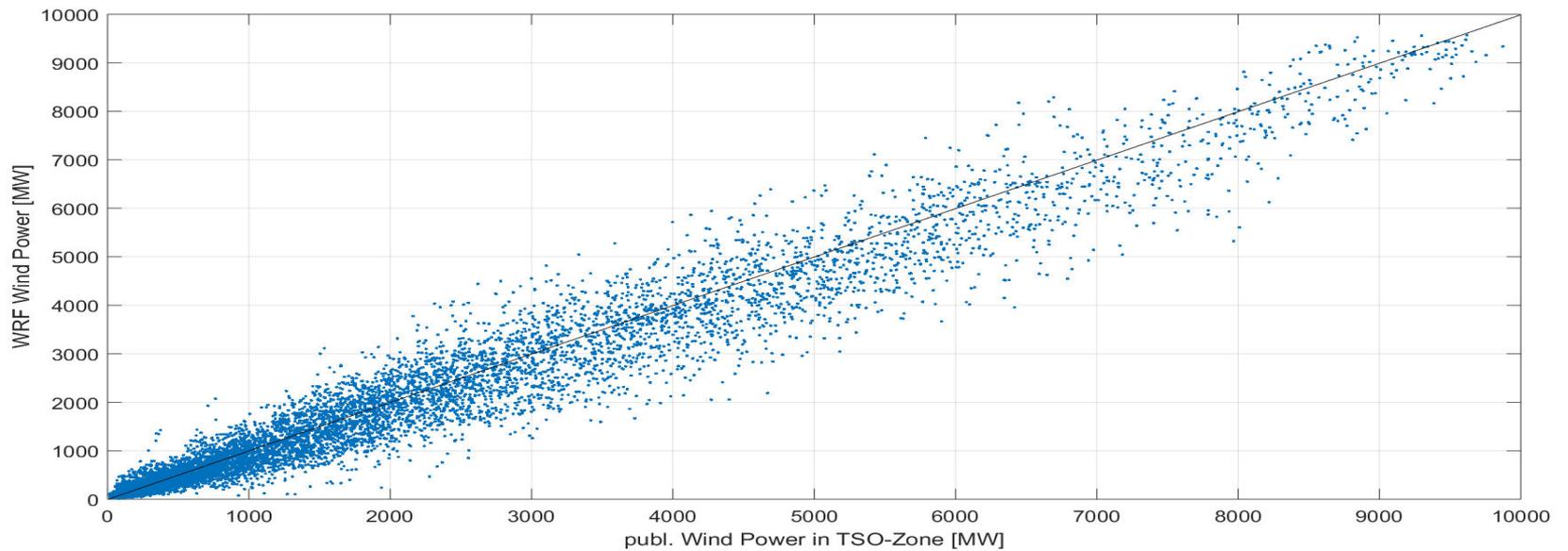
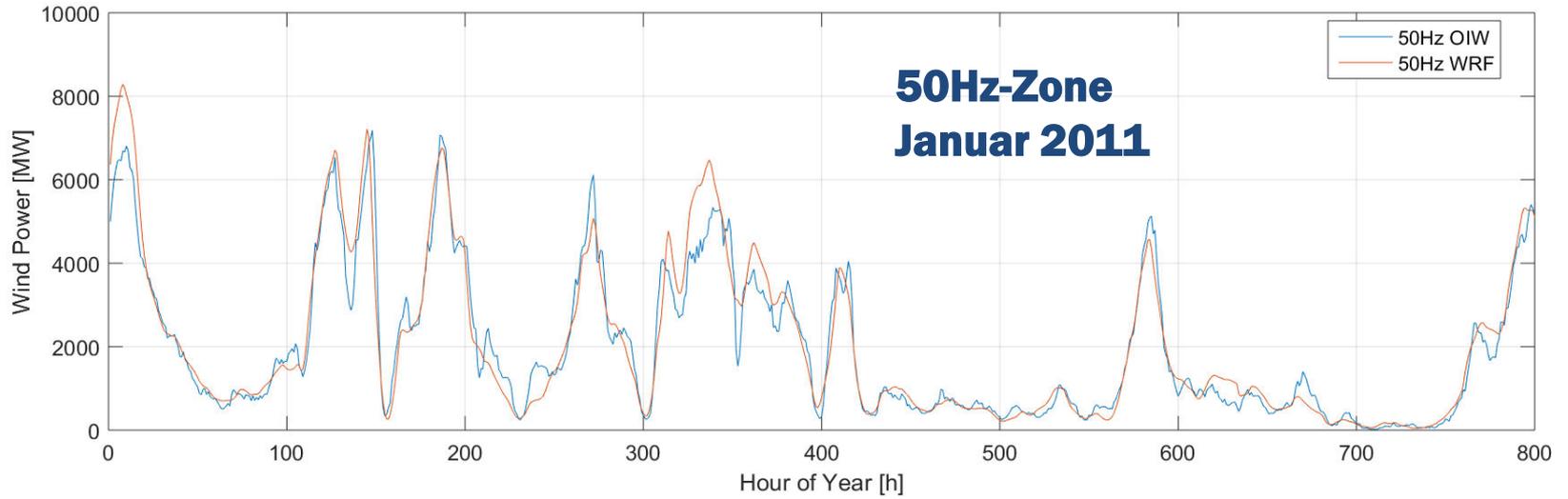
# Onshore: Äquivalente Regionale Leistungskurven

nach McLean (2008) - EU-Projekt "TradeWind"

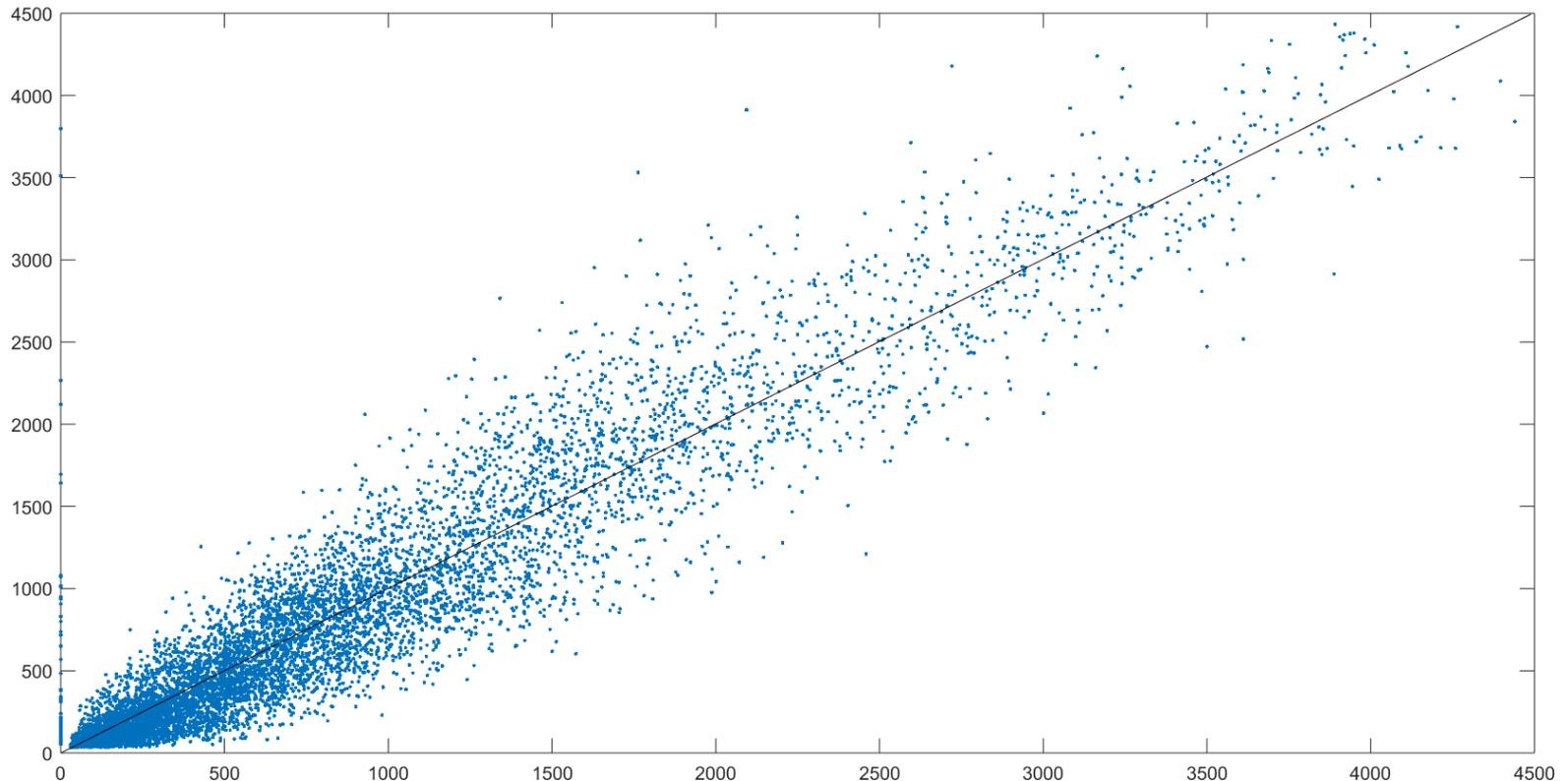


# Onshore-Ergebnisse für 2011: 50Hz-Zone (Ostdeutschland)





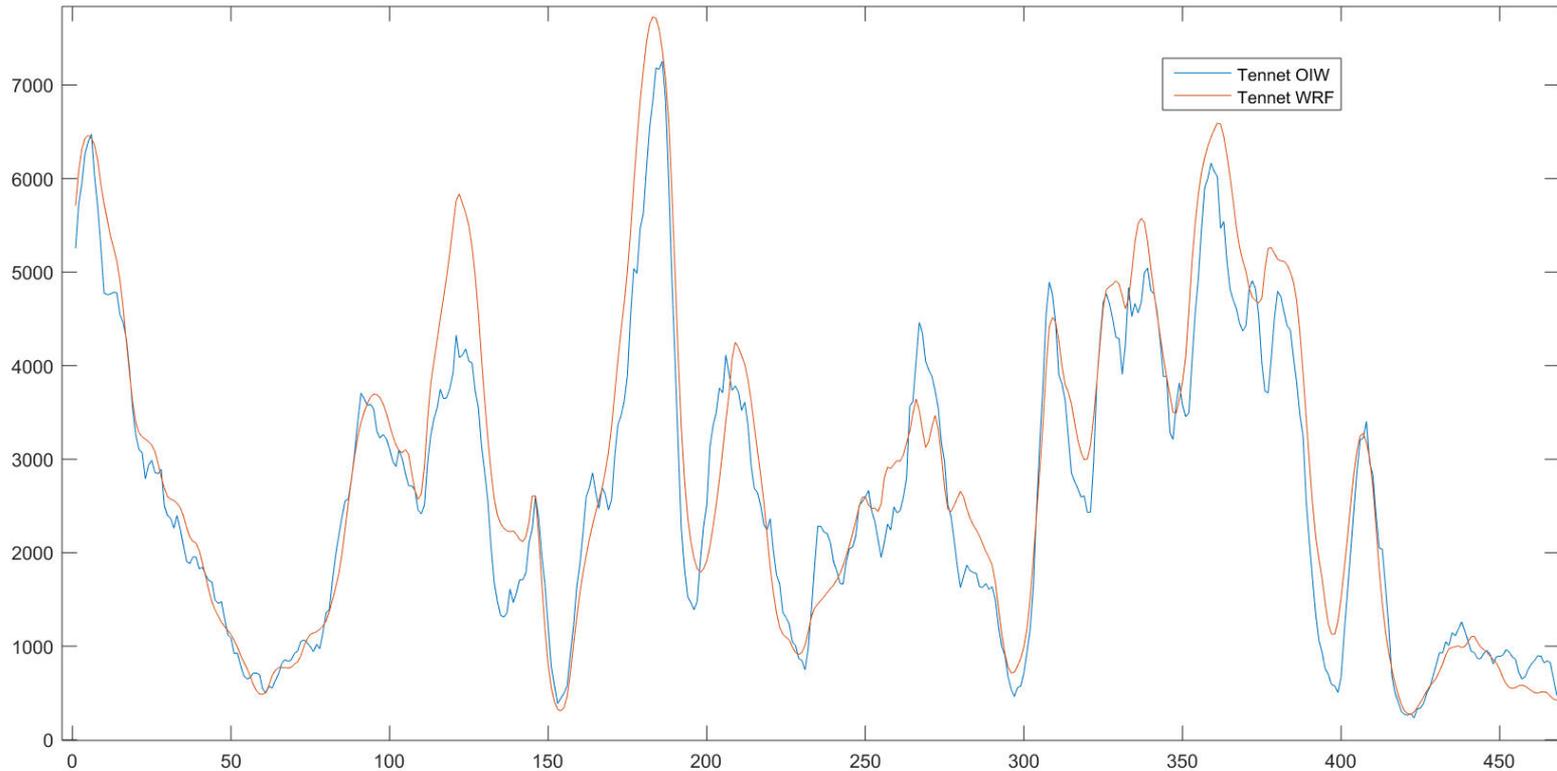
# Onshore-Ergebnisse für 2011: Amprion-Zone (NRW, Rhein.-Pf., Saarl.)



Korrelation von WRF zur TSO-  
Hochrechnung: **0.95**

nRMSE: **5.3%**

# Onshore-Ergebnisse für 2011, Januar: Tennet-Zone (S-H, Nds., Hessen, Bayern)

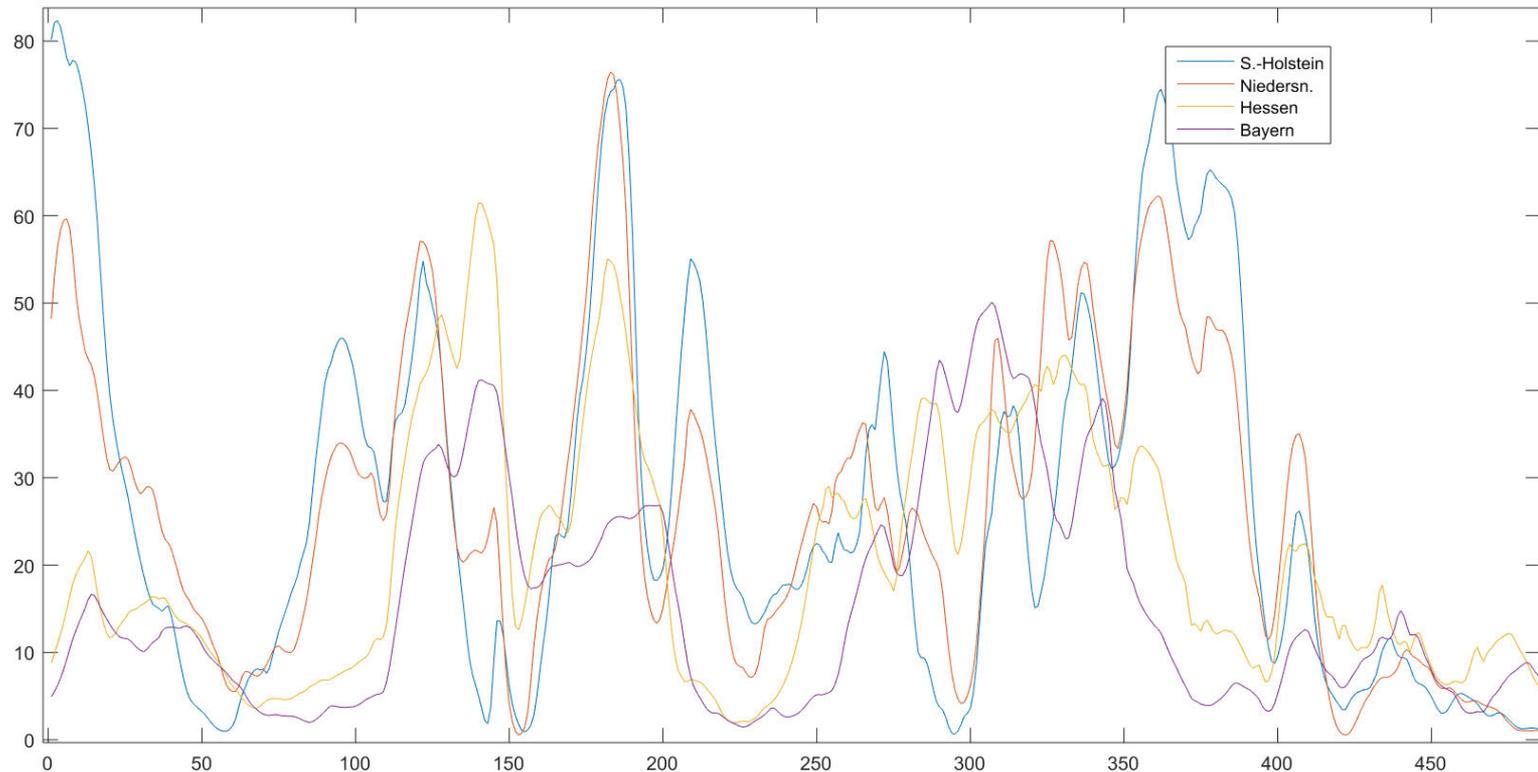


Korrelation von WRF zur TSO-  
Hochrechnung: **0.96**

nRMSE: **5.1%**

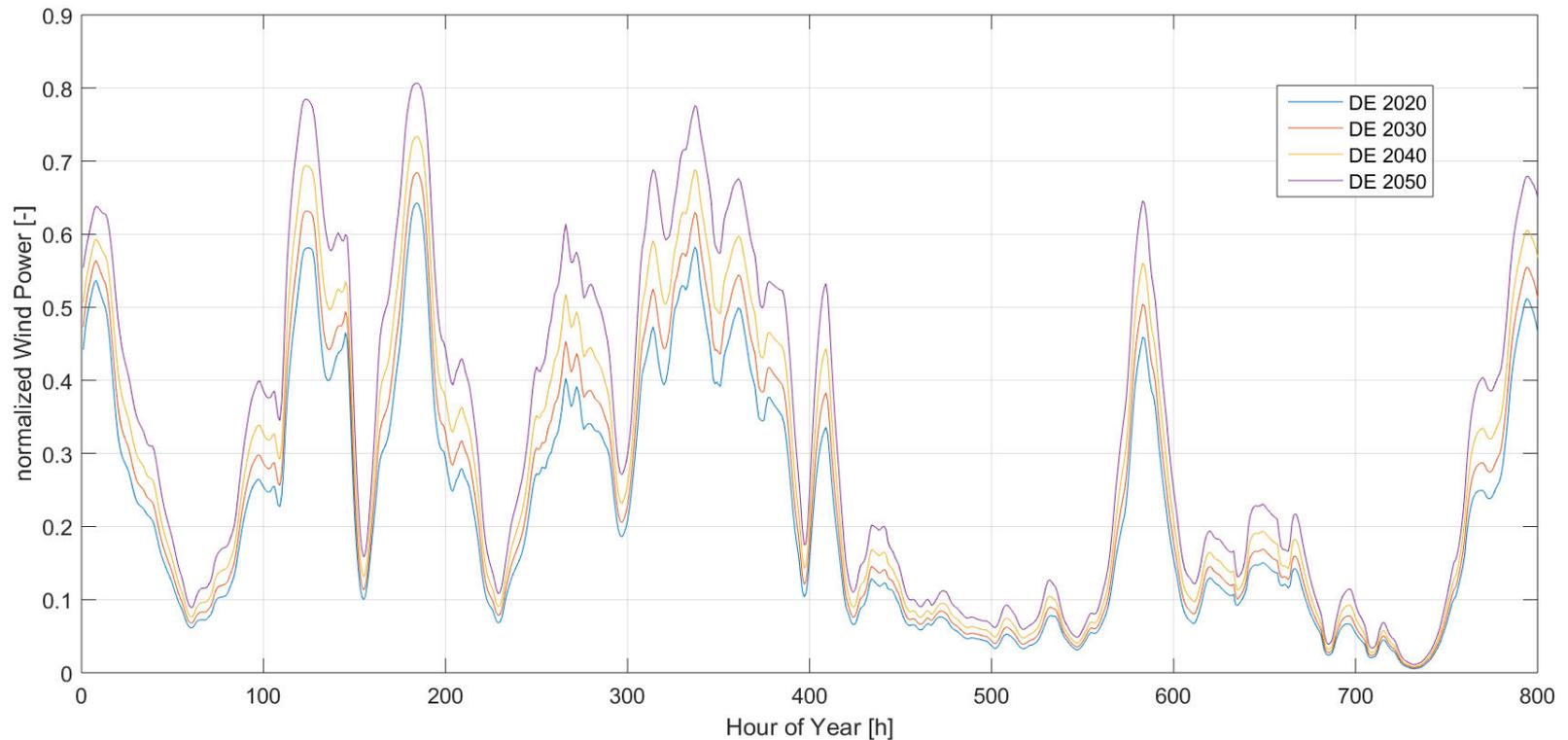


# Onshore-Ergebnisse für 2011, Januar: normierte Leistung (S-H, Nds., Hessen, Bayern)

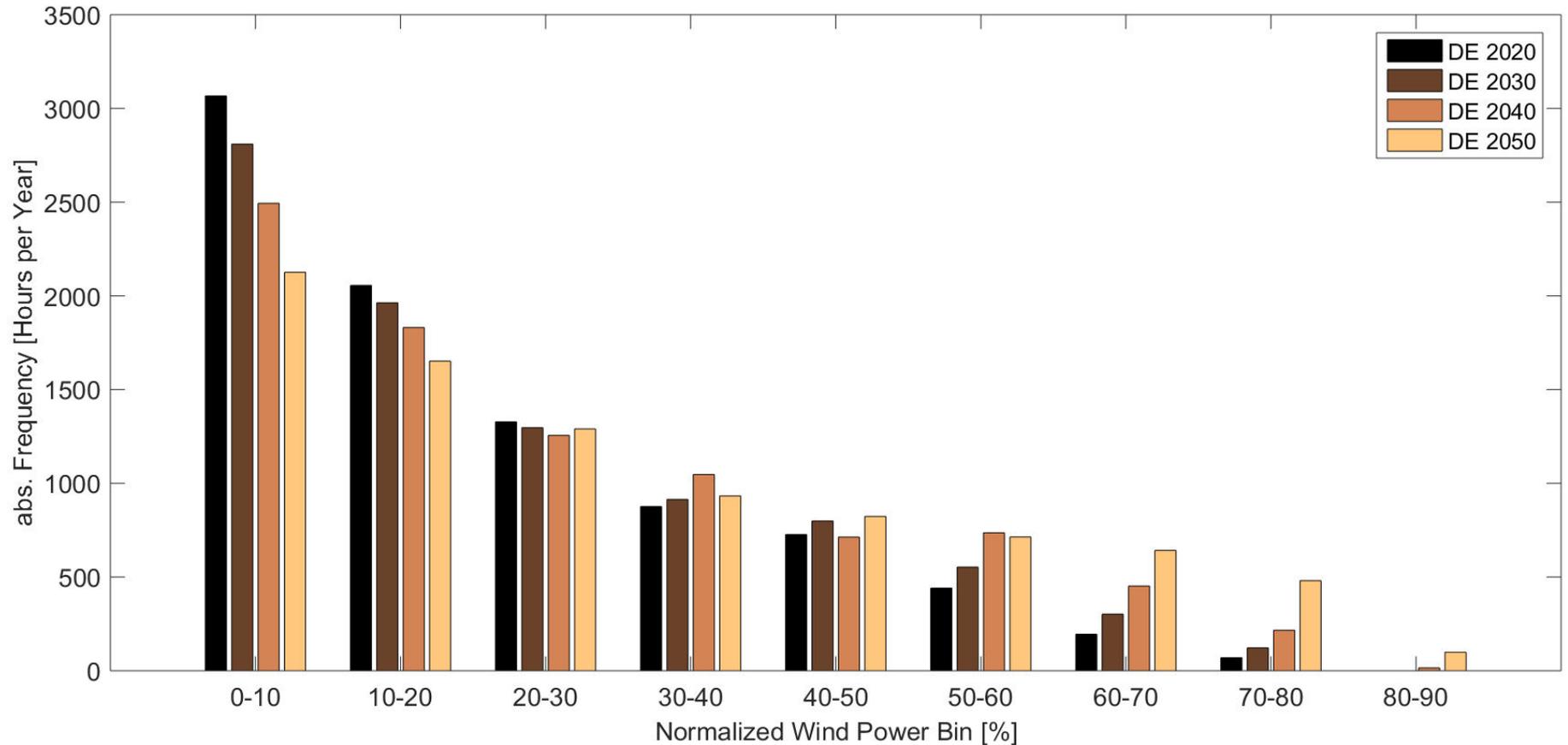


# Onshore-Ergebnisse für ganz DE

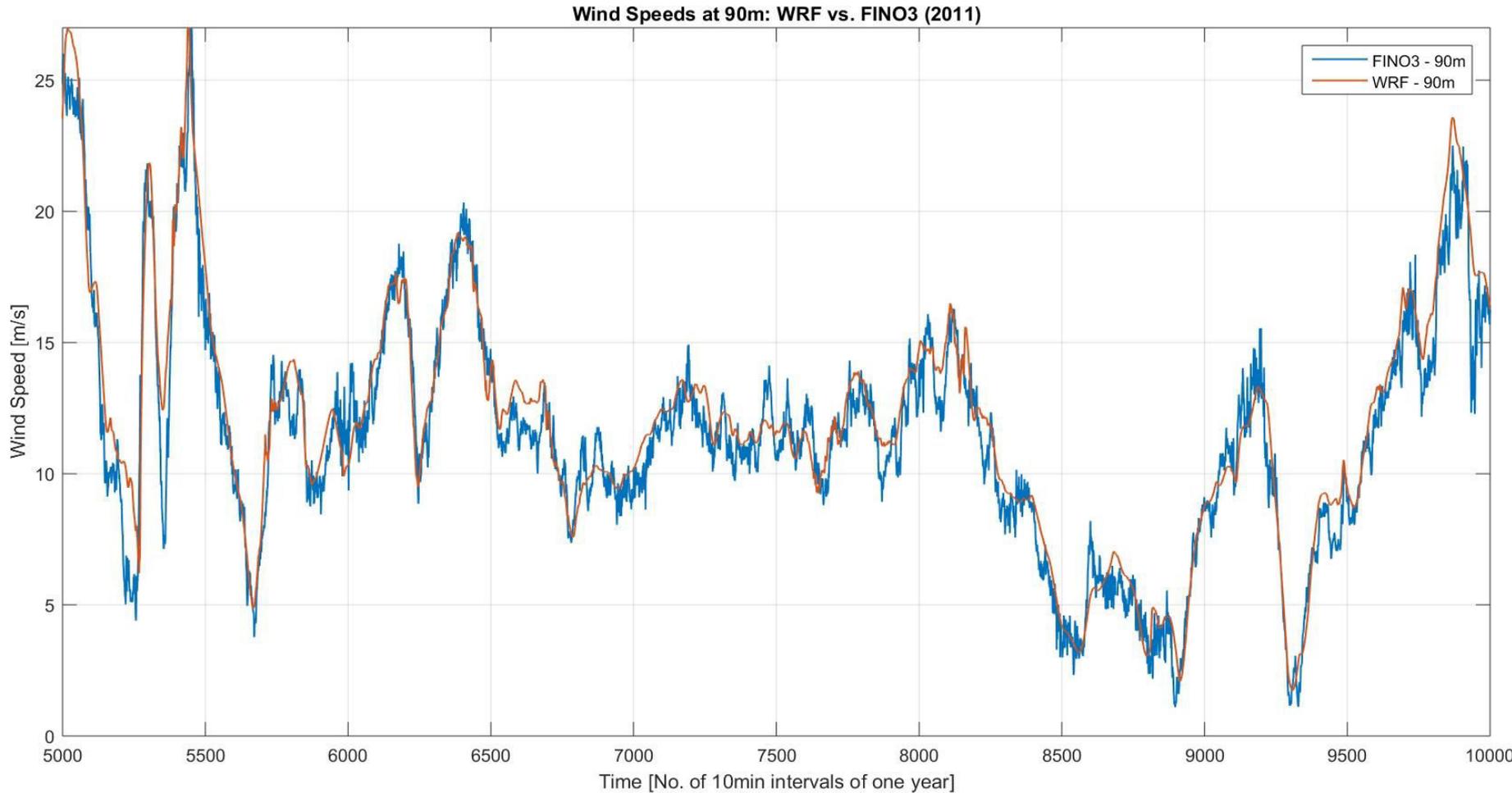
	2020	2030	2040	2050
Vollbenutzungsstunden	1825 h	2020 h	2263 h	2620 h



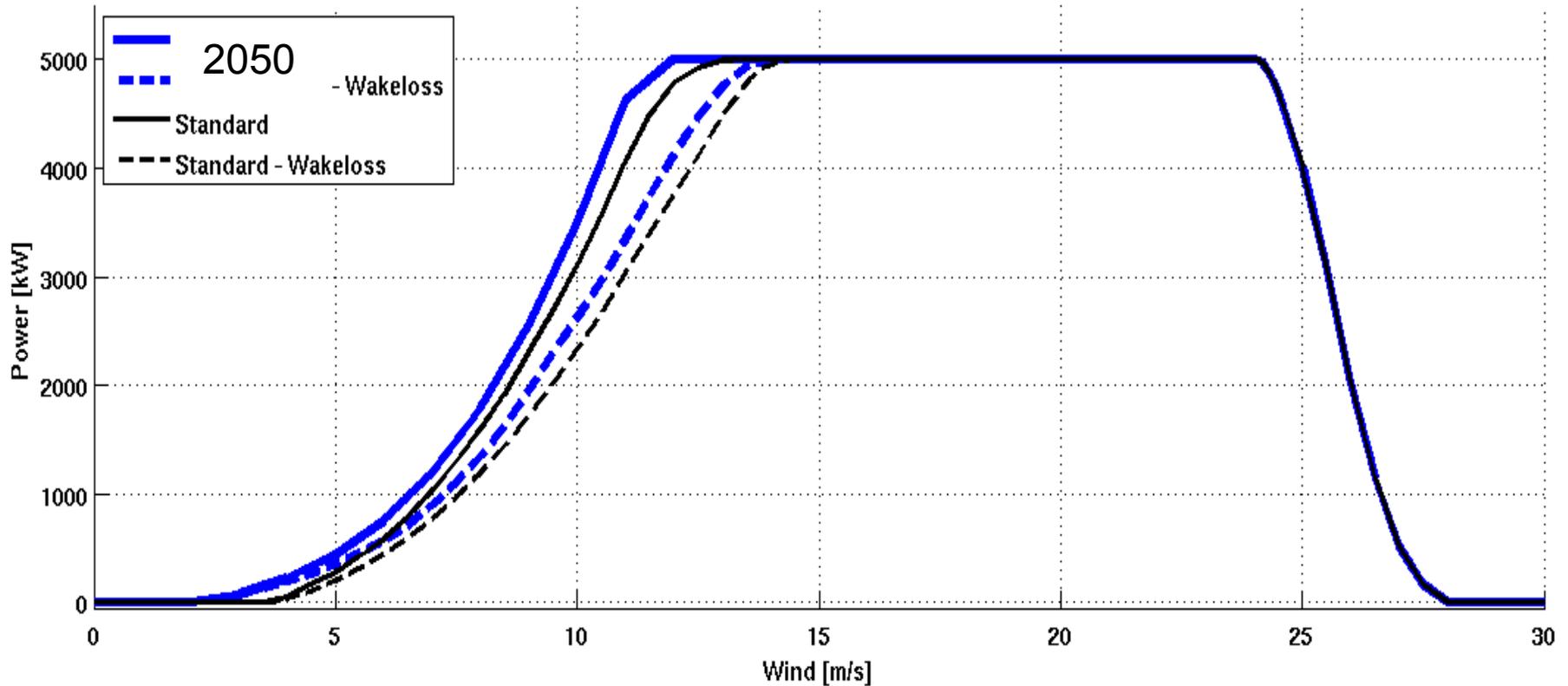
# Onshore-Ergebnisse für ganz DE



# Offshore-Wind



# Leistungskurven von Offshore-Windenergie-Anlagen



# Ausblick

- Auswertung der PV- und Offshore-Zeitreihen
- Analyse der Korrelationen und Ausgleichseffekte
- Bereitstellung der Zeitreihen für Projekte der Stromsystemmodellierung

Das Projekt „Einbindung des Wärme- und Kältesektors in das Strommarktmodell Power-Flex zur Analyse sektorübergreifender Effekte auf Klimaschutzziele und EE-Integration“ (FKZ: 0325708) wird vom BMWi gefördert aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages.

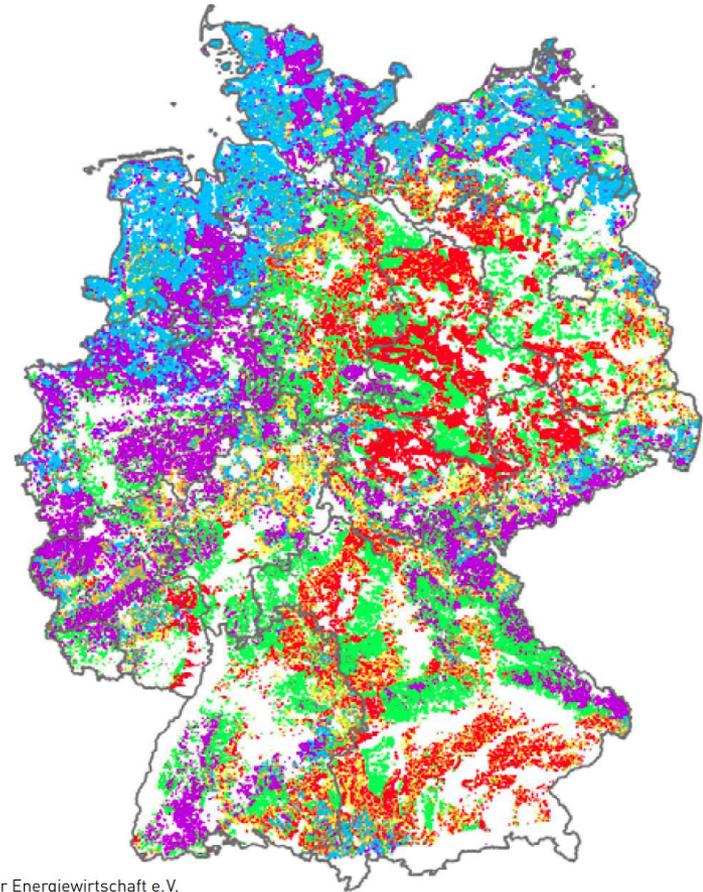
# Potenzielle Flächen für WEA

## SZENARIORAHMEN FÜR DIE NETZENTWICKLUNGSPLÄNE STROM 2030



ENTWURF DER  
ÜBERTRAGUNGSNETZBETREIBER

- *Ohne Restriktionen: Anlagen für gute Standorte*
- *Wald ohne Schutzgebiete: Anlage für gute Standorte*
- *Schutzgebiete: Anlage für gute Standorte*
- *Ohne Restriktionen: Schwachwindanlage*
- *Wald ohne Schutzgebiete: Schwachwindanlage*
- *Schutzgebiete: Schwachwindanlage*



Quelle: Forschungsstelle für Energiewirtschaft e.V.