



Generierung räumlich und zeitlich hoch aufgelöster onshore Windeinspeisezeitreihen von 2000 bis 2015

Raik Becker

Berlin, 17.11.2017



HELMHOLTZ
ZENTRUM FÜR
UMWELTFORSCHUNG
UFZ

Motivation

Bedarf an hoch aufgelösten Einspeisezeitreihen:

- Regionales Monitoring der Energiewende
- Energiesystem- und Netzmodelle
- Räumliche Marktwertbestimmung von Erneuerbaren
- [...]

Ziel:

- Stündliche Einspeisezeitreihen für alle erneuerbaren Energien mit hoher räumlicher Auflösung (zunächst historisch)
- Geeignete Veröffentlichung der finalen Datensätze

Agenda

1. Datengrundlage
2. Modell
3. Vorläufige Ergebnisse
4. Zusammenfassung

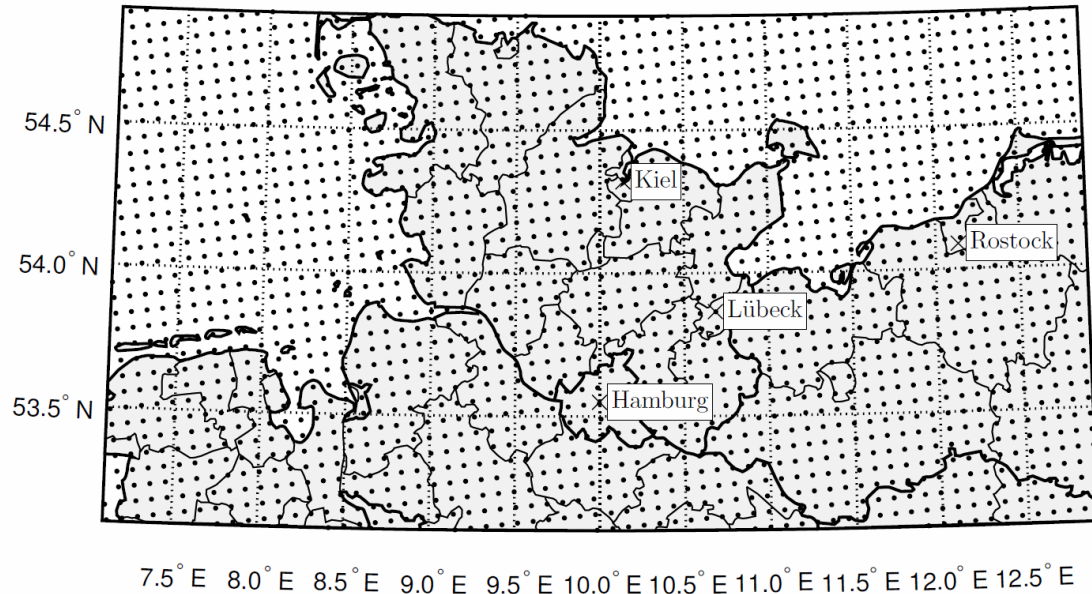
DATENGRUNDLAGE

Wetterdaten – Optionen

1. Messdaten (Wetterstationen)
 - Räumlich geringe Auflösung
 - Low-level jet bei Wind
2. Assimilationsdaten (bspw. COSMO-DE/EU)
 - Oftmals kurze Historie
 - Modellverbesserung nur in neueren Daten
3. Reanalyse-Daten (bspw. COSMO-REA2/6)
 - Konsistenter Datensatz
 - Nutzung aller Modellverbesserungen

Reanalyse-Daten

- Neuberechnung alter Beobachtungsdaten mit neuen Modellen
- Konsistenter Datensatz über langen Zeitraum
- Synthese verschiedener Beobachtungsnetzwerke möglich
- COSMO-REA6: 6x6km-Netz, 1997-2015 [1,2]



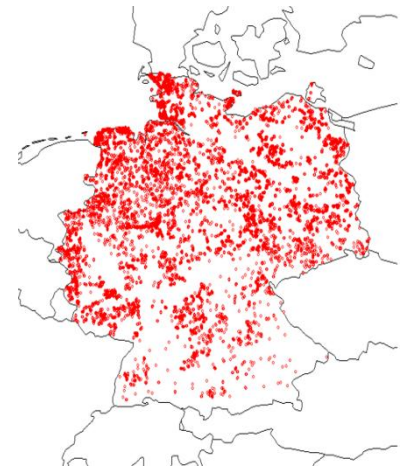
Windanlagendaten

Ursprung:

- 16 Landesbehörden (Bsp.: Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg)
- Zusammengetragen im BfN-Projekt EE-Monitor

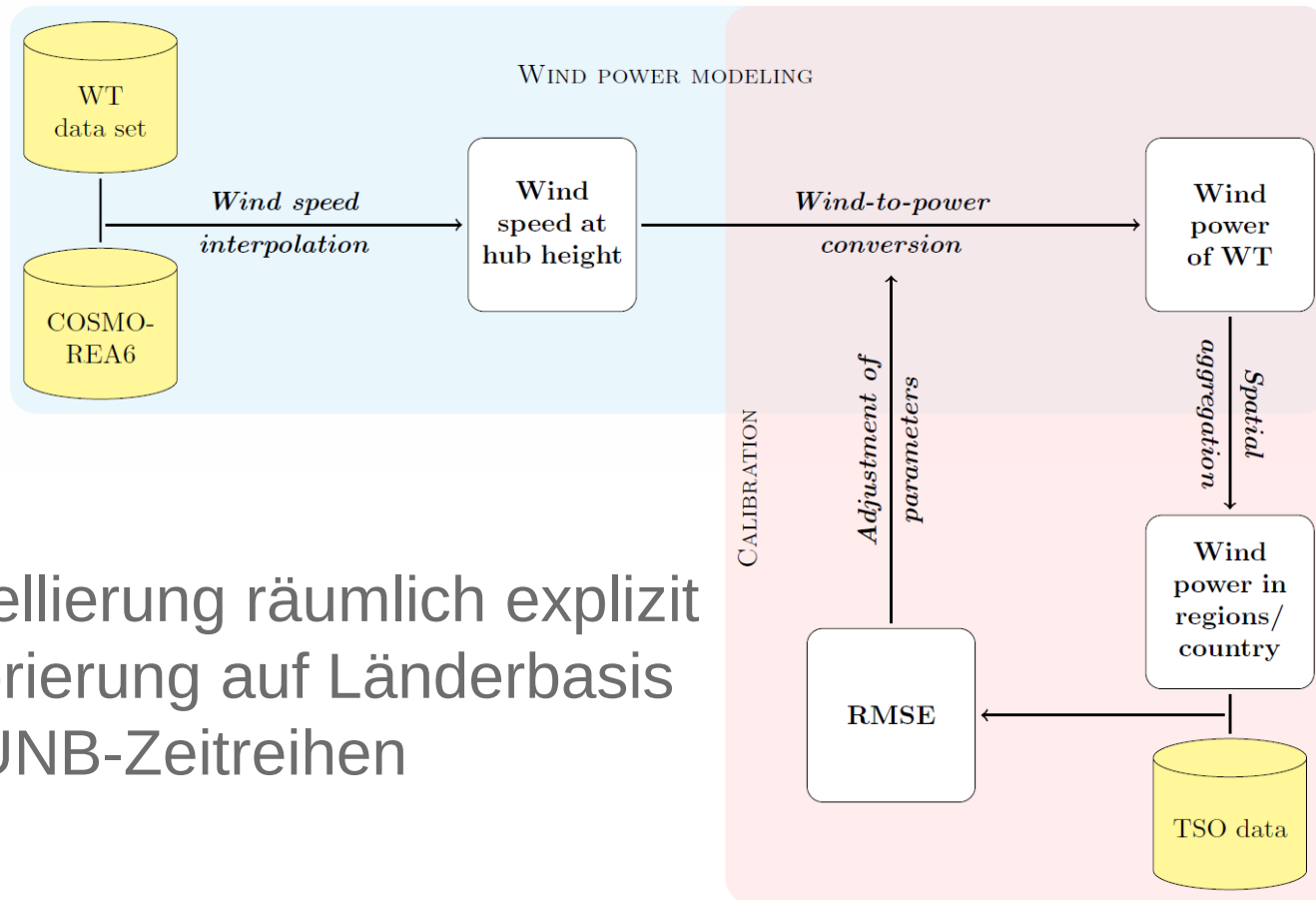
Vervollständigung:

- Lückenfüllung mit Machine-Learning-Ansatz random forests [3]
 - 24842 Anlagen
 - 43,53 GW



MODELL

Modell



- Modellierung räumlich explizit
- Kalibrierung auf Länderbasis mit ÜNB-Zeitreihen

Leistungskurve

Ansatz:

- Eine Leistungskurve für alle Windturbinen
- Standardisierte Leistungskurve + Gauß-Filter (Glättung, da stündlich Windgeschwindigkeitsmittelwerte)
- Nenngeschwindigkeit wird mit Rotordurchmesser für jede Anlage gesondert berechnet

$$I(v) = \begin{cases} 0 & \text{if } v < v_{\min} \\ \frac{v^3 - v_{\min}^3}{v_r^3 - v_{\min}^3} & \text{if } v_{\min} \leq v \leq v_r \\ 1 & \text{if } v > v_r \\ 0 & \text{if } v > v_{\max} \end{cases}$$

$$v_r = \sqrt[3]{\frac{2 \cdot P_r \cdot 10^3}{1.225 \cdot \pi \cdot C_p \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2}}$$

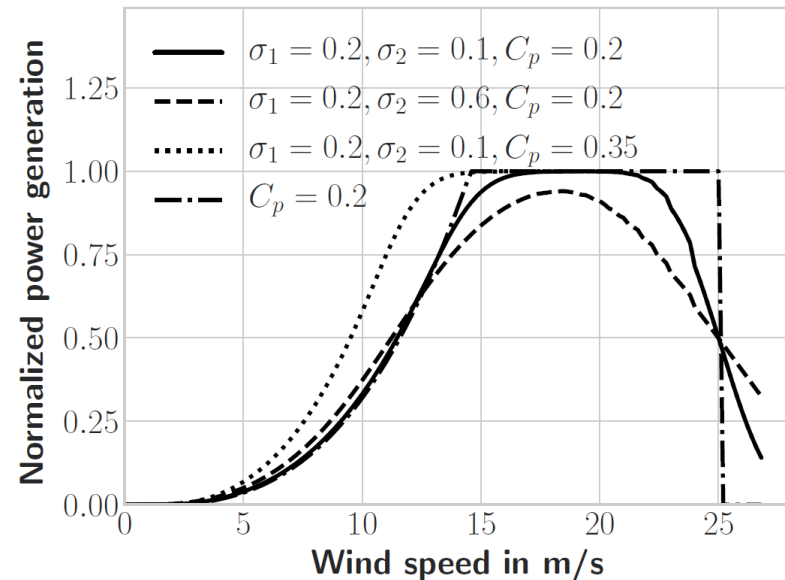
$$P = \frac{1}{\sqrt{2 \cdot \pi \cdot \sigma}} \int_{-4\sigma}^{4\sigma} I(v - n) \cdot \exp\left(\frac{-n^2}{2 \cdot \sigma}\right) dn$$

$$\sigma = \sigma_1 + \sigma_2 \cdot v$$

Leistungskurve

Zu optimierende Parameter:

- c_{min} Cut-in wind speed
- c_{max} Cut-out wind speed
- C_p Coefficient of power
- σ_1 Gauß-Filter (Glättung der Leistungskurve)
- σ_2



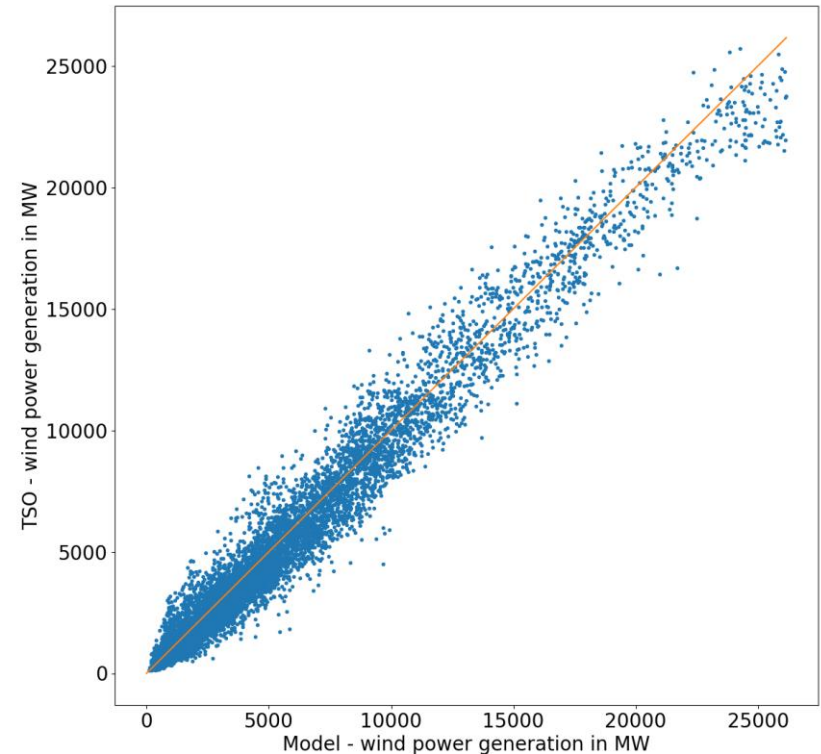
VORLÄUFIGE ERGEBNISSE

Vorläufige Ergebnisse

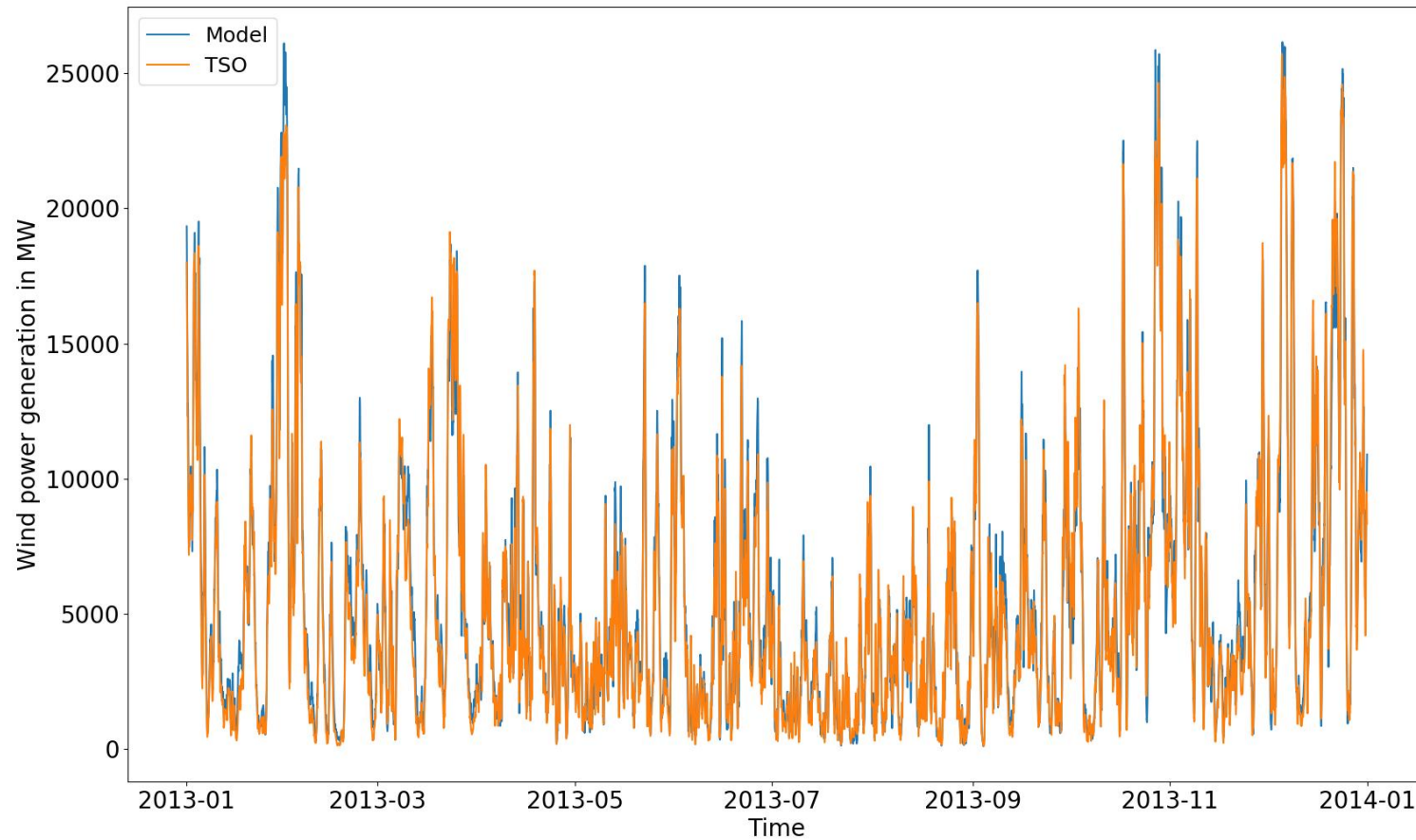
Bisher bester Ergebnis für 2013:

- RMSE: 929 MW
- R^2 : 0,965

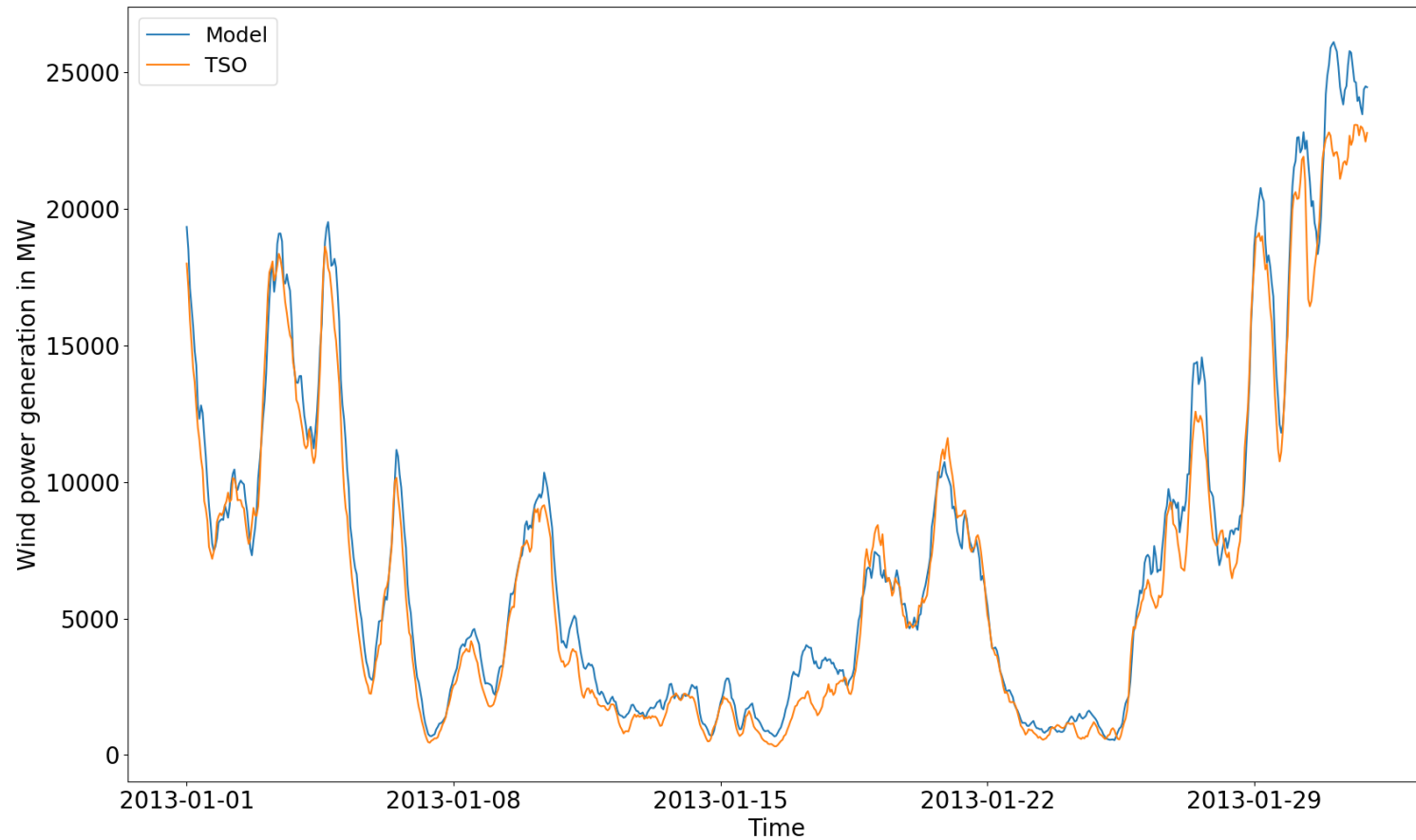
c_{min}	2,5 m/s	Cut-in wind speed
c_{max}	23 m/s	Cut-out wind speed
C_p	0,25	Coefficient of power
σ_1	0,5	Gauß-Filter (Glättung der Leistungskurve)
σ_2	0,55	



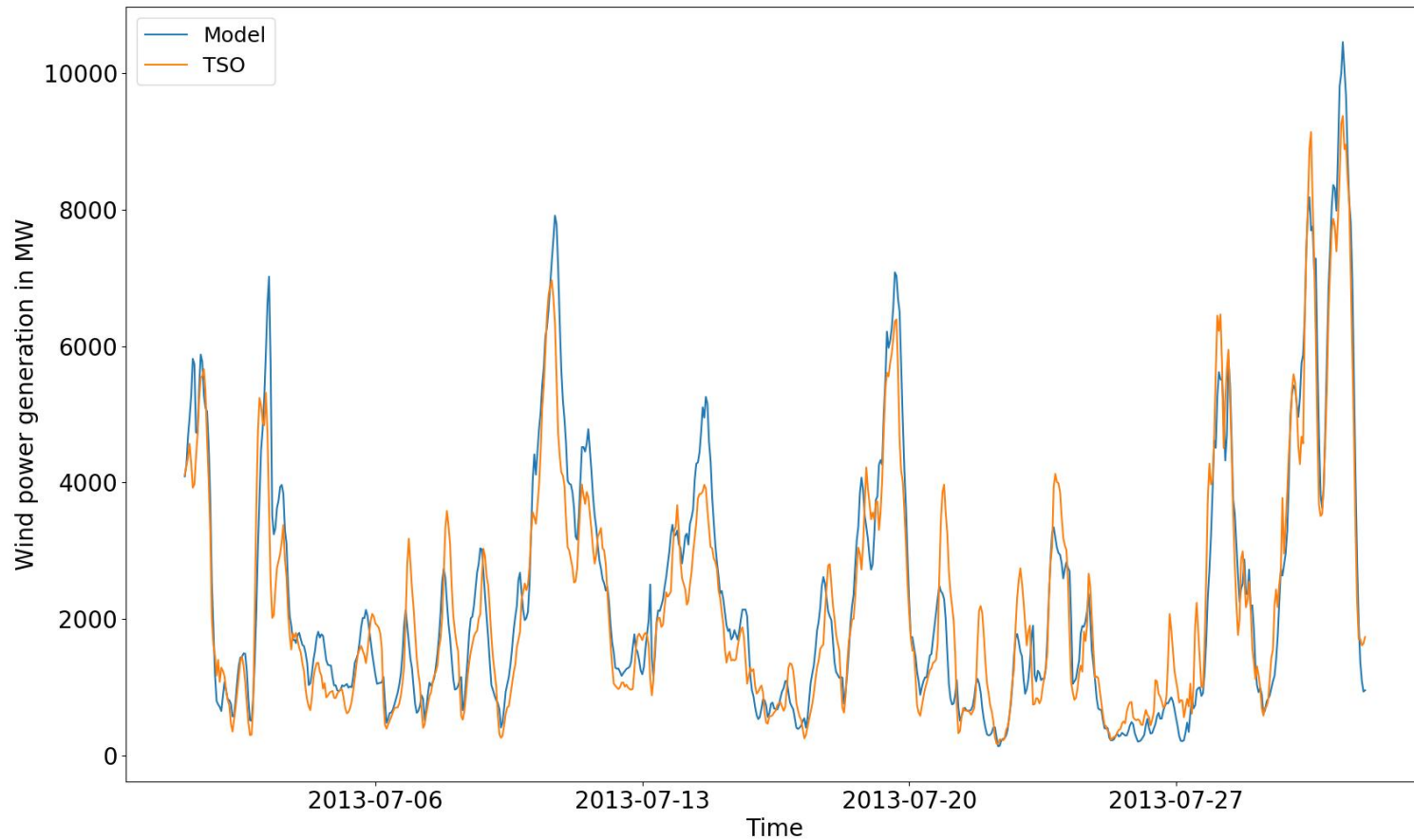
Modell vs. TSO: 2013



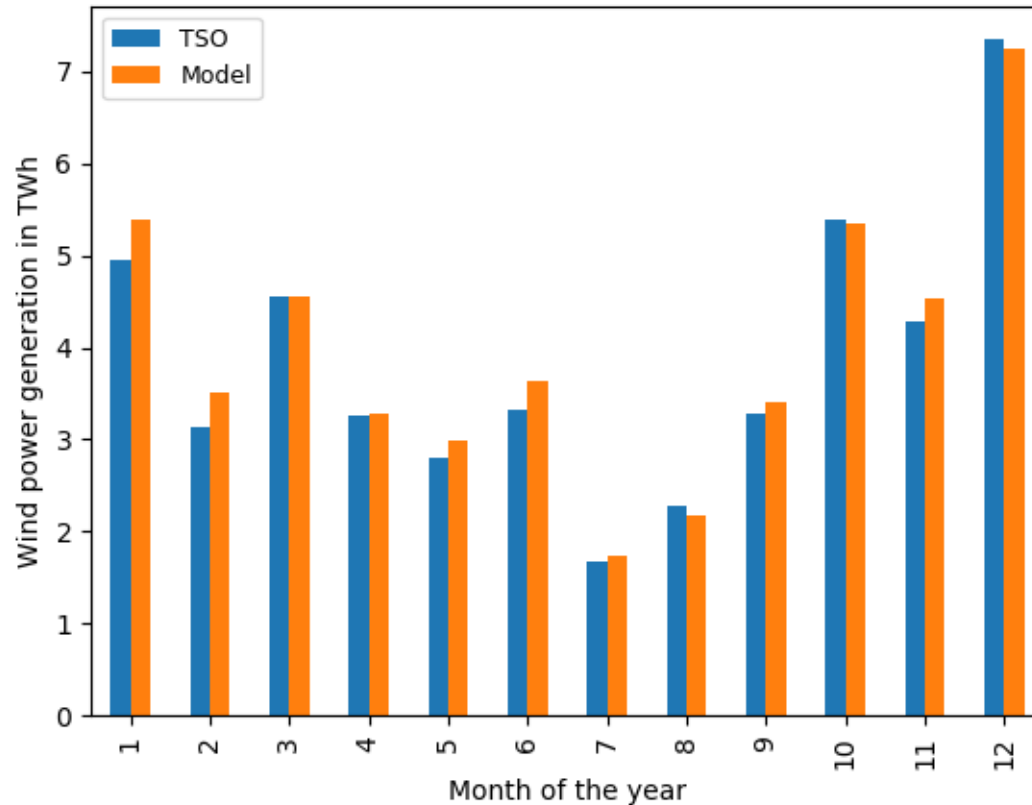
Modell vs. TSO: Jan. 2013



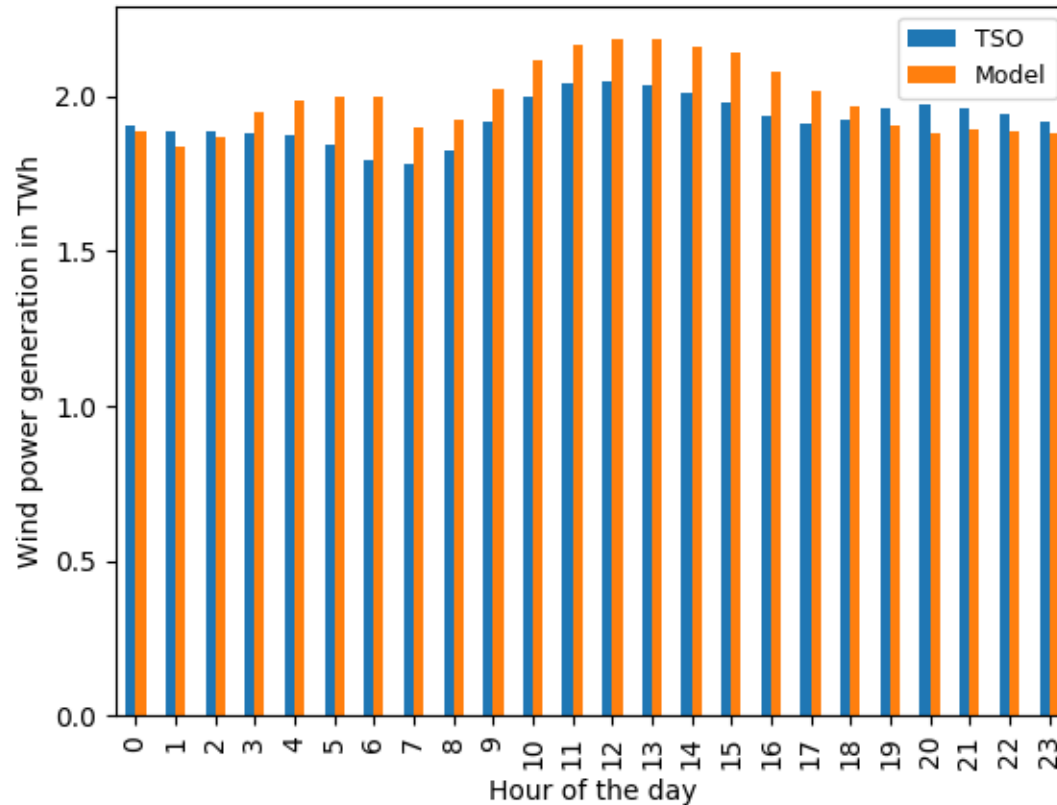
Modell vs. TSO: Juli 2013



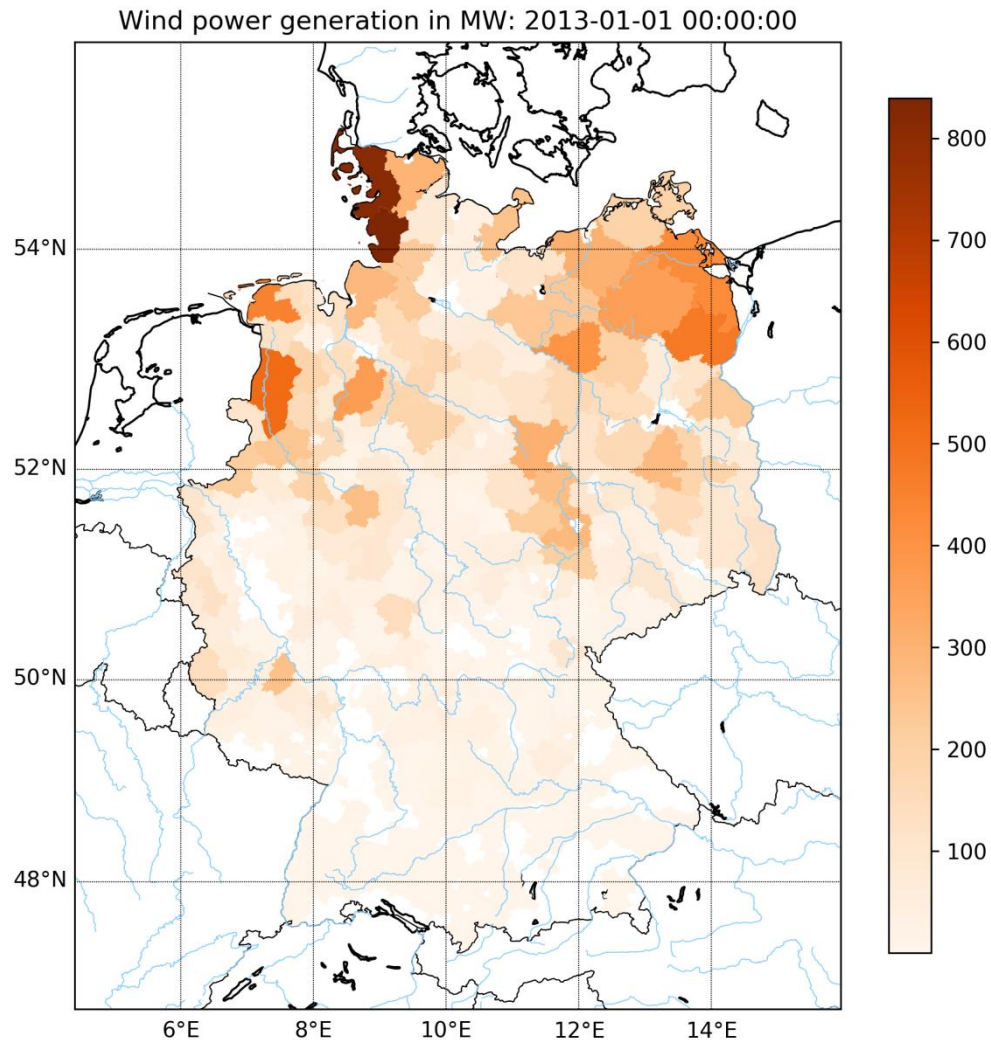
Modell vs. TSO: Monatl. Energiemengen



Modell vs. TSO: Tagesstruktur



NUTS3



ZUSAMMENFASSUNG

Zusammenfassung

- Räumlich und zeitlich hoch aufgelöste Einspeisezeitreihen erbringen einen Mehrwert:
 - Regionales Monitoring der Energiewende möglich
 - Energiesystem- und Netzmodelle benötigen feinere Granularität
- Regionale Reanalyse-Modelle sind gut geeignet für solche Zwecke
- Nächste Schritte:
 - Veröffentlichung des Datensatz für Anfang 2018 angestrebt
 - Modellierung von PV, Biomasse und Wasserkraft

QUELLEN

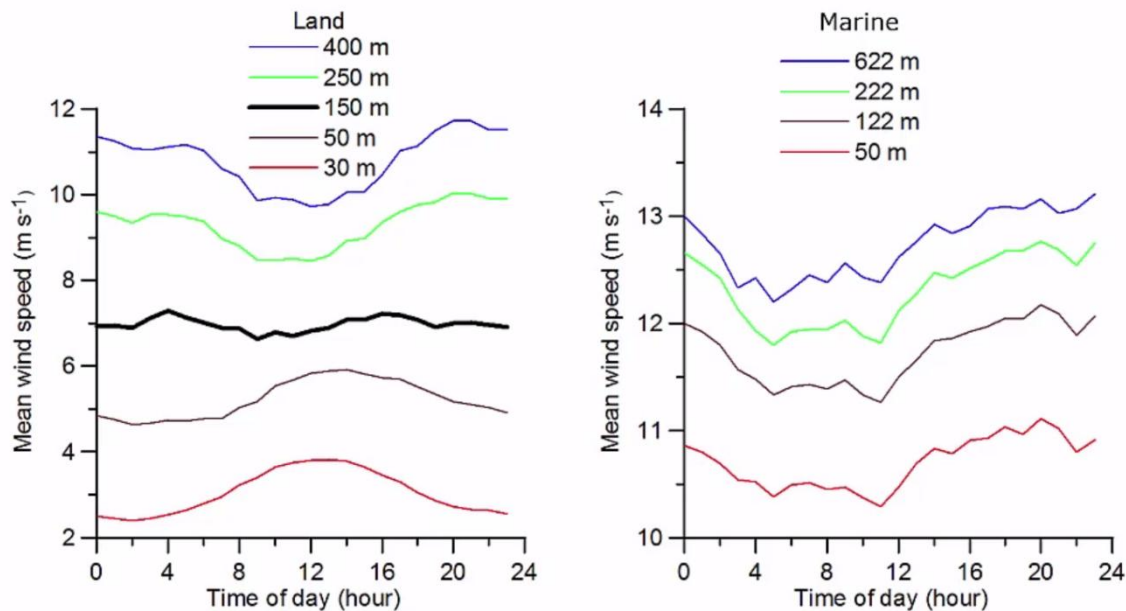
Quellen

- [1] Hans Ertel Centre for Weather Research
- [2] C. Bollmeyer, J. D. Keller, C. Ohlwein, S. Wahl, S. Crewell, P. Friederichs, A. Hense, J. Keune, S. Kneifel, I. Pscheidt, S. Redl, S. Steinke, Towards a high-resolution regional reanalysis for the European CORDEX domain, Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society 141 (686) (2015) 1–15.
- [3] R. Becker, D. Thrän (2017): Completion of wind turbine data sets for wind integration studies applying random forests and k-nearest neighbors. Applied Energy 208C (2017), pp. 252-262.

BACKUP

Beispiel: Low-level jet

Diurnal wind variability



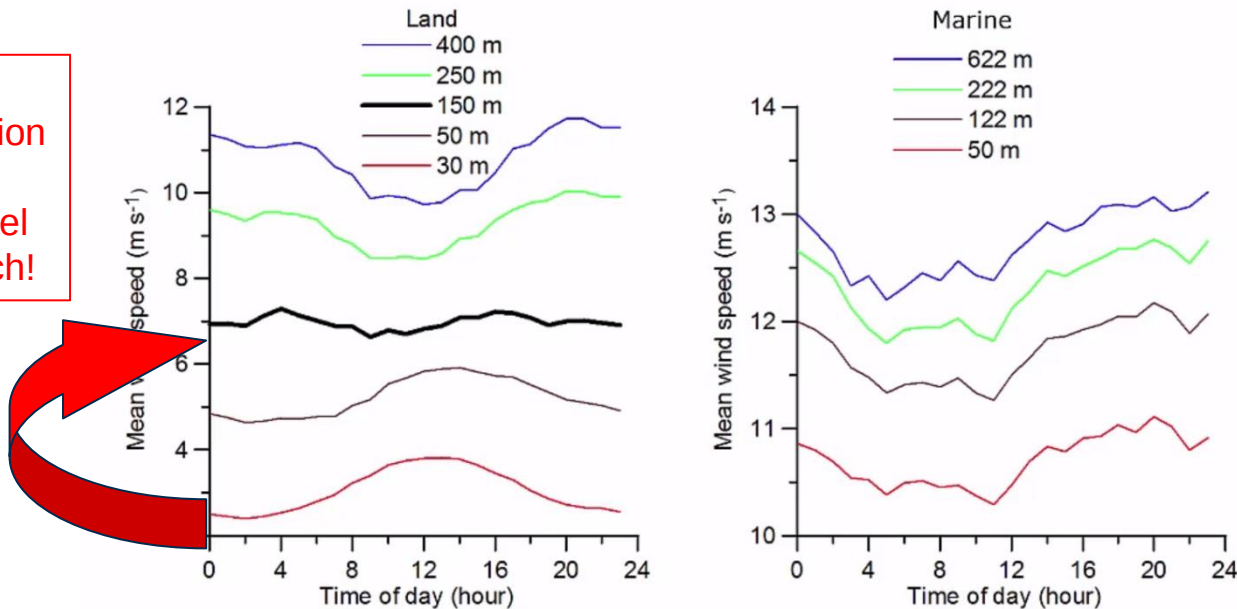
Gryning et al., 2016: Boundary-Layer Meteorology

Quelle: DTU Department of Wind Energy (2017), Lecture 4 Wind Profiles

Beispiel: Low-level jet

Diurnal wind variability

Einfache
Transformation
durch
Höhenformel
nicht möglich!



Gryning et al., 2016: Boundary-Layer Meteorology

Quelle: DTU Department of Wind Energy (2017), Lecture 4 Wind Profiles