

# HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

---

Conference Poster, Published Version

**Reyers, Mark; Moemken, Julia; Pinto, Joaquim G.**

## **Zukünftige Änderungen der Windenergie-Potentiale über Europa in einem großen CMIP5 Multi-Modell Ensemble**

Zur Verfügung gestellt in Kooperation mit/Provided in Cooperation with:  
**Deutsche Meteorologische Gesellschaft, KlimaCampus Hamburg**

---

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/104451>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Reyers, Mark; Moemken, Julia; Pinto, Joaquim G. (2015): Zukünftige Änderungen der Windenergie-Potentiale über Europa in einem großen CMIP5 Multi-Modell Ensemble. Poster präsentiert bei: 10. Deutsche Klimatagung, 21. bis 24. September 2015, Hamburg.

### **Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:**

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.





# Zukünftige Änderungen der Windenergie-Potentiale über Europa in einem großen CMIP5 Multi-Modell Ensemble

Mark Reyers<sup>(1)</sup>, Julia Moemken<sup>(1)</sup>, Joaquim G. Pinto<sup>(1,2)</sup>

(1) Inst. Geophysics & Meteorology, Univ. Cologne, Germany; (2) Dep. Meteorology, Univ. Reading; Kontakt: mreys@meteo.uni-koeln.de

**1 Einleitung** Einige neuere Studien untersuchen den Einfluss der Klima-Änderung auf regionale Windenergie-Potentiale, betrachten dabei jedoch oftmals nur einzelne GCMs, da deren Regionalisierung viel Rechenzeit beansprucht. Für die vorliegende Studie verwenden wir ein kosten-effizientes statistisch-dynamisches Downscaling-Verfahren (SDD), welches es erlaubt Zukunfts-Szenarien von großen GCM Ensembles im Hinblick auf Windenergie zu regionalisieren. Es wird die zukünftige Änderung regionaler Windenergie-Potentiale über Europa für die Mitte und das Ende des 21. Jahrhunderts in einem Ensemble von insgesamt 22 CMIP5-Modellen analysiert.

## 2 METHODIK

- **SDD** basiert auf der Klassifizierung von Wetterlagen (WL; Jones et al., 1993) und COSMO-CLM Simulationen (0.22°)
- 77 WL werden betrachtet (z.B. Nordwest, West, ..., mit verschiedenen Druck Gradienten; siehe Abb. 1)
- detaillierte Beschreibung des **SDD** in Reyers et al. (2015a)

- SDD** wird angewendet zur Bestimmung zukünftiger Änderungen von:
- Mittlerer jährlicher Windenergie Output (*Eout*)
  - Intra-annuelle Variabilität von *Eout* (hinsichtlich des jahreszeitlichen *Eout* im Winter DJF und Sommer JJA)
  - Inter-annuelle Variabilität von *Eout* (hinsichtlich der Standardabweichung des jährlichen *Eout*)

Untersucht werden RCP4.5 and RCP8.5 Szenarien von 22 CMIP5 Modellen für die Perioden 2021-2060 und 2061-2100

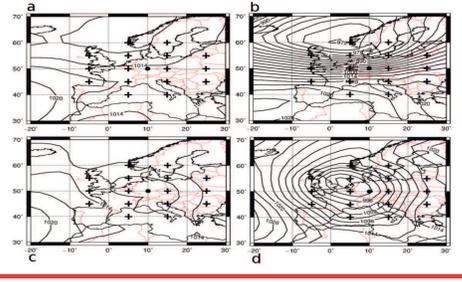


Abb. 1: Klimatologien der Wetterlagen (a) West mit einem Druckgradienten von 0-5hPa pro 1000km, (b) West mit 35-40hPa pro 1000km, (c) Zyklonal mit 0-5hPa pro 1000km, (d) Zyklonal mit 20-25hPa pro 1000km. An den mit Kreuzen gekennzeichneten Gitterpunkten wurde der Bodendruck zur WL Klassifizierung benutzt.

## 3 EVALUIERUNG DER CMIP5 MODELLE

- CMIP5 Modelle überschätzen meist die westlichen WL verglichen zu Reanalysen (Tab. 1)
- Vier Modelle weisen realistische Auftrittshäufigkeiten auf (grün unterlegt in Tab. 1)
- CMIP5 Ensemble-Mittel überschätzt *Eout* für die historische Periode 1961-2000 (siehe Abb. 2)
- Bias-Korrektur der Häufigkeiten hat jedoch nur einen geringen Einfluss auf Zukunfts-Projektionen (nicht gezeigt)

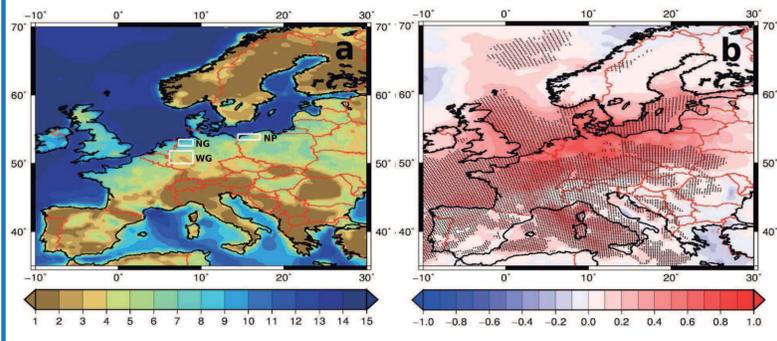
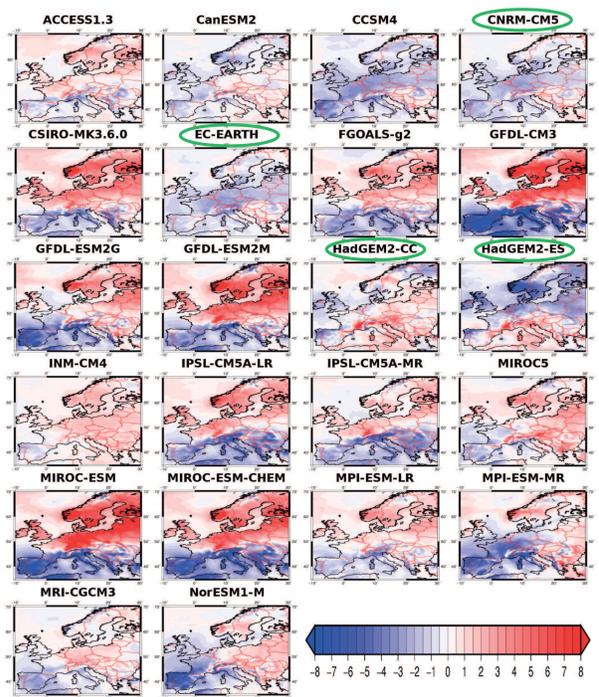


Abb. 2: (a) Mittlerer jährlicher *Eout* in 10<sup>3</sup>MWh für ERA-Interim. (b) Differenz des jährlichen *Eout* des Ensemble-Mittels der historischen Läufe der CMIP5-Modelle zu ERA-Interim. Punkte kennzeichnen Gitterpunkte an denen 18+ CMIP5 Modelle *Eout* überschätzen.

MODEL	W	W+ (P-15)	SW, W, NW
ERA-Interim	9.58	4.54	27.61
ACCESS1.3	+1.00	+1.97	-0.35
CanESM2	+3.02	+3.45	+6.06
CCSM4	+7.47	+7.36	+13.10
CNRM-CM5	-0.05	+0.59	+0.44
CSIRO-MK3.6.0	-2.02	-1.21	-4.46
EC-EARTH	+0.51	+1.06	+0.21
FGOALS-g2	-1.67	-1.52	-2.58
GFDL-CM3	+1.88	+1.85	+4.39
GFDL-ESM2G	+3.56	+2.86	+8.16
GFDL-ESM2M	+2.31	+2.01	+4.80
HadGEM2-CC	-0.68	0	-2.67
HadGEM2-ES	-0.62	-0.06	-2.56
INM-CM4	+2.67	+2.94	+4.30
IPSL-CM5A-LR	+4.58	+4.08	+9.34
IPSL-CM5A-MR	+4.24	+4.03	+10.24
MIROC5	-3.83	-2.37	-7.84
MIROC-ESM	+3.62	+3.11	+9.13
MIROC-ESM-CH	+2.84	+2.82	+7.38
MPI-ESM-LR	+1.65	+1.56	+5.22
MPI-ESM-MR	+3.22	+2.50	+8.07
MRI-CGCM3	+3.56	+4.01	+6.56
NorESM1-M	+6.54	+5.38	+12.43

Tab. 1: Auftrittshäufigkeit der WL West (2. Spalte), WL West mit starkem Druckgradient (3. Spalte), und Summe aller westlichen WL (4. Spalte) für ERA-Interim und die CMIP5 Modelle.

## 4 ÄNDERUNG DES JÄHRLICHEN WINDENERGIE-POTENTIALS



- Zukunfts-Änderungen unterscheiden sich deutlich zwischen den einzelnen Modellen (Abb. 3)
- Vier Modelle mit realistischen westlichen WL Häufigkeiten (vgl. Tab.1) weisen Abnahme von *Eout* auf (grün umrandet in Abb. 3)
- Ensemble-Mittel: Zunahme in Mittel- und Nord-Europa, Abnahme in Süd-Europa (Abb. 4)
- Stärkere und stabilere Änderungen für 2061-2100 → 15+ Modelle haben den selben Trend (Abb. 4)

Abb. 3: Änderungen des jährlichen *Eout* in % für RCP8.5 (2061-2100) minus den historischen Läufen (1961-2000) in den einzelnen CMIP5 Modellen.

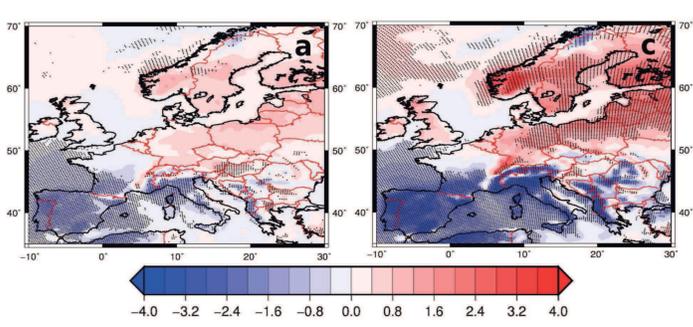


Abb. 4: Änderungen des jährlichen *Eout* in % für das Ensemble-Mittel unter RCP8.5 für 2021-2060 (links) und 2061-2100 (rechts) minus historischer Periode (1961-2000). Punkte kennzeichnen Gitterpunkte an denen 15+ Modelle das selbe Vorzeichen wie das Ensemble-Mittel aufweisen.

## 5 ÄNDERUNG DER INTRA- UND INTER-ANNUELLEN VARIABILITÄT

- Modelle zeigen meist Zunahme von *Eout* über Nord-Europa und Abnahme über Süd-Europa im Winter, und umgekehrt für Sommer (Abb. 5a-d)
- Deutliche Verstärkung der **intra-annuellen** Variabilität über Nord-Europa, v.a. für 2061-2100 (15+ Modelle, siehe Abb. 5e-f)

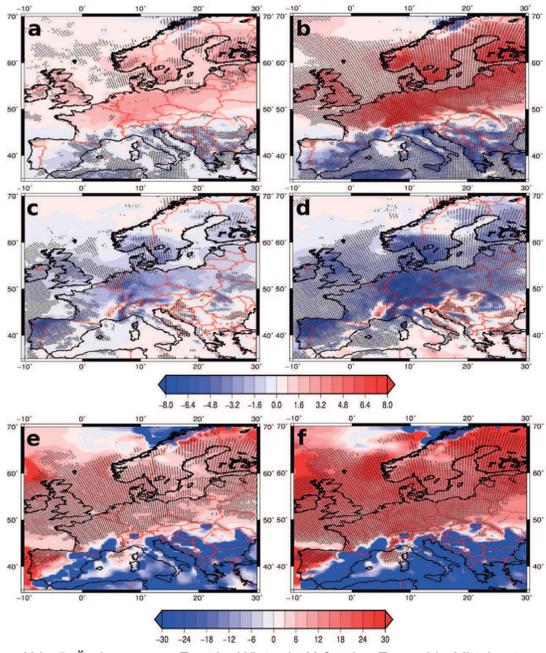


Abb. 5: Änderung von *Eout* im Winter in % für das Ensemble-Mittel unter RCP8.5 für (a) 2021-2060 und (b) 2061-2100. (c), (d) für Sommer. Änderung der intra-annuellen Variabilität (Winter minus Sommer) für (e) 2021-2060 und (f) 2061-2100. Punkte kennzeichnen Gitterpunkte an denen 15+ Modelle das selbe Vorzeichen wie das Ensemble-Mittel aufweisen.

- Änderung der **inter-annuellen** Variabilität weist starke Streuung zwischen den einzelnen Modellen auf (Abb. 6)
- Median um Null, Zu- und Abnahmen variieren zwischen -40% und +40%
- Sehr große Unsicherheit

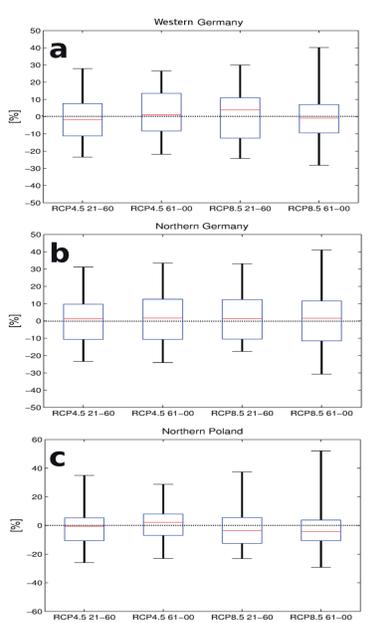


Abb. 6: Box-Whisker Plots für die Änderung der inter-annuellen Variabilität von *Eout* in % in den 22 Ensemble Mitgliedern für (a) West Deutschland, (b) Nord Deutschland, und (c) Nord Polen (vgl. Abb. 2a).

## 6 Schlussfolgerungen

- Moderate zukünftige Zunahme von *Eout* über Nord- und Zentral-Europa im Ensemble-Mittel
- Mehr *Eout* über dem Baltikum und weniger *Eout* über Süd-Europa in der Periode 2061-2100 in 15+ Modellen
- Zunahme der intra-annuellen Variabilität in 15+ Modellen und somit eine höhere Unregelmäßigkeit in der Windenergie-Erzeugung über weiten Teilen Europas
- Zuverlässige Aussagen über Änderungen der inter-annuellen Variabilität sind aufgrund der hohen Unsicherheit zwischen den Modellen nicht möglich

### LITERATUR:

- Jones PD, Hulme M, Briffa KR (1993): *Int. J. Climatol.* **13**: 655-663
- Reyers M, Pinto JG, Moemken J (2015a): *Int. J. Climatol.* **35**: 229-244
- Paper eingereicht als: Reyers M, Moemken J, Pinto JG (2015b): *Int. J. Climatol.*; doi:10.1002/joc.4382