



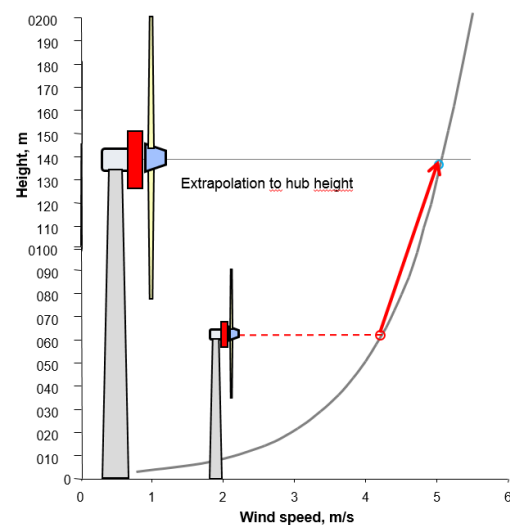
Auswertung von 6-monatigen Windmessungen mit Sodar oder Lidar – Langzeitkorrektur des Windprofils versus Zeitreihenkorrelation der Messdaten

27. Windenergietage
8. Nov. 2018 Annette Westerhellweg

UL and the UL logo are trademarks of UL LLC © 2018.

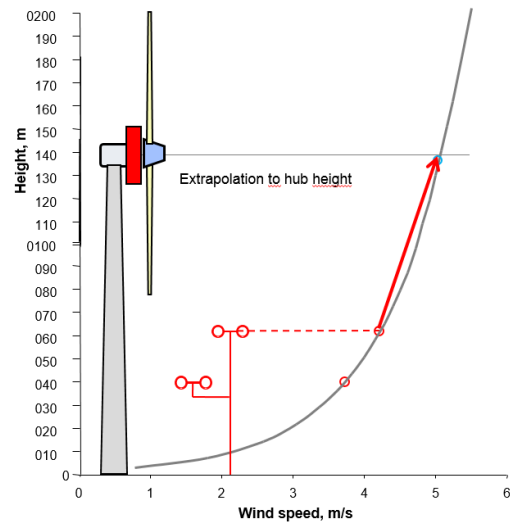
Motivation

Messung des vertikalen Windprofils



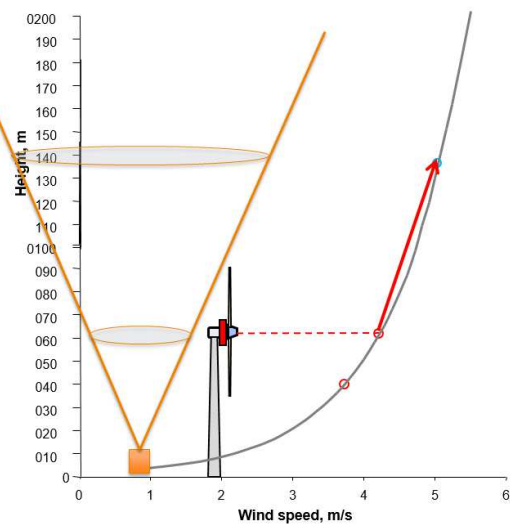
Motivation

Messung des vertikalen Windprofils



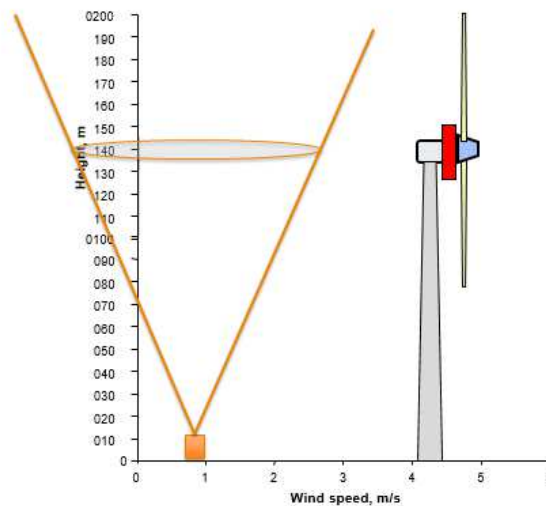
Motivation

Messung des vertikalen Windprofils



Motivation

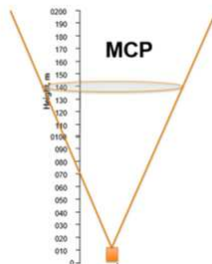
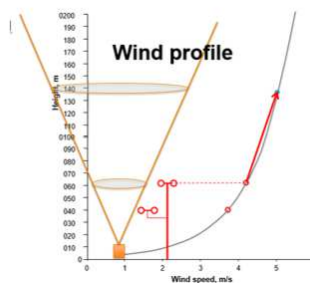
Direkte Verwendung der Windmessung in Nabenhöhe



Überblick

Auswertung der zu erwartenden Unsicherheiten bei 6-monatigen Windmessungen:

1. von Windprofilauswertungen
2. von MCP Zeitreihenkorrelation mit Reanalysedaten/Daten aus mesoskaligen Modellen



MCP = Measure-Correlate-Predict = Zeitreihenkorrelation



Messdaten

6-Monatsperioden:

- 1. Halbjahr: Jan-Jun
- Sommer: Apr-Sep
- 2. Halbjahr: Jul-Dez
- Winter: Okt-Mar

Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez



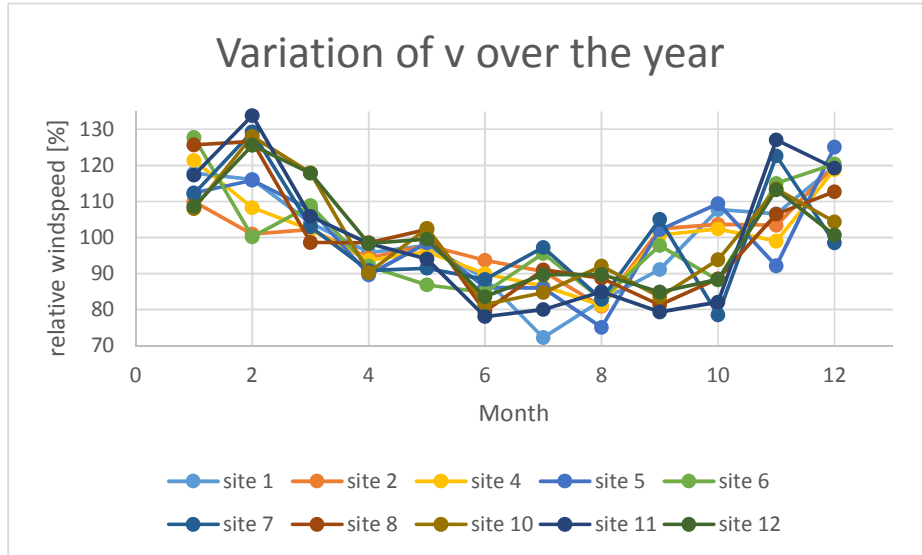
Messdaten

12 Messungen in Deutschland

- Messhöhe ca. 140 m
- Daten von Sodar, Lidar oder Mast
- Verstreut über Deutschland
- Flach bis leicht komplex
- Messungen von 2011 bis 2017
- Verfügbarkeit von 56 % bis 100 %
- Windscherung von $\alpha = 0.26$ bis $\alpha = 0.49$

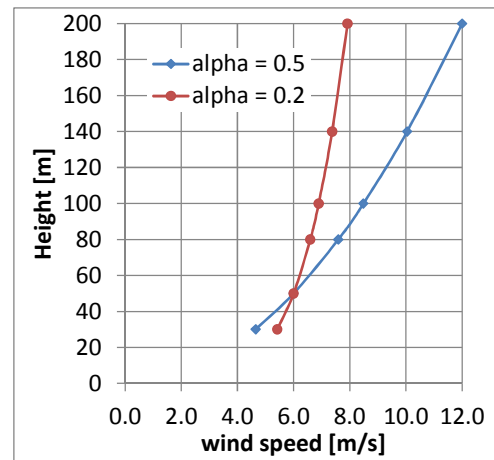
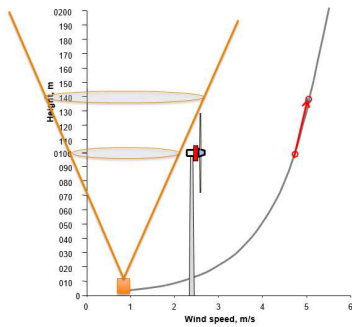


Messdaten

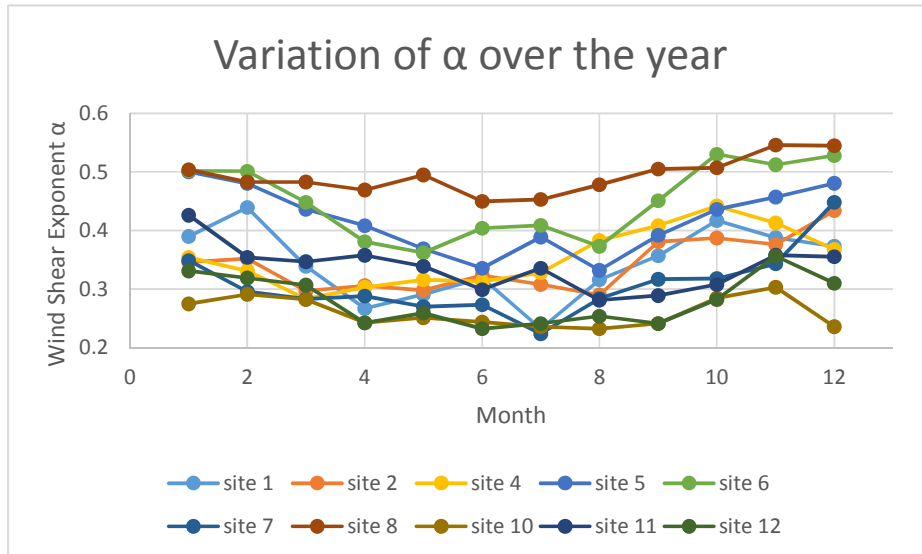


Windscherungsexponent α

$$v(h) = v_{hub} \left(\frac{h}{h_{hub}} \right)^\alpha$$

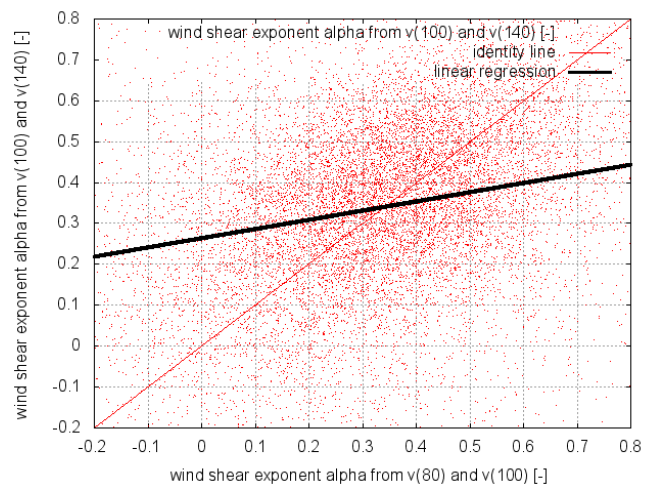
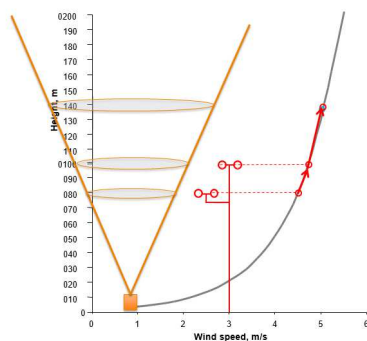


Messdaten



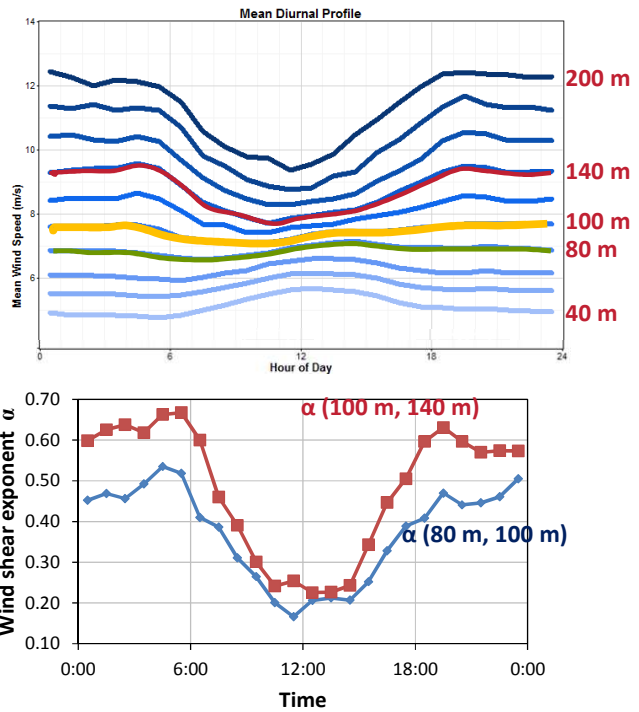
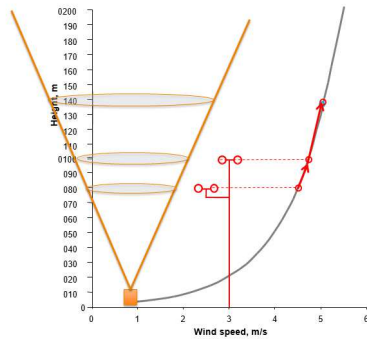
Windprofilmessungen

- Windscherungen in verschiedenen Höhen korrelieren häufig sehr schlecht.



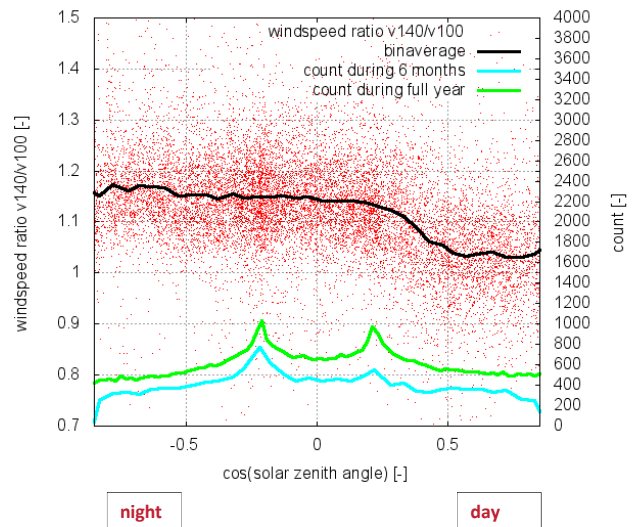
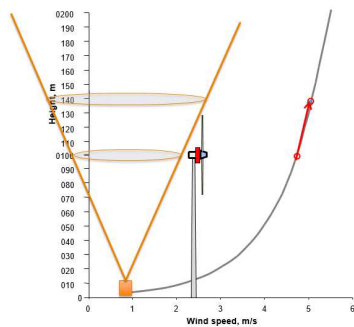
Windprofilmessungen

- Windscherung variiert mit der Tageszeit



Saisonale Korrektur der Windprofilmessungen

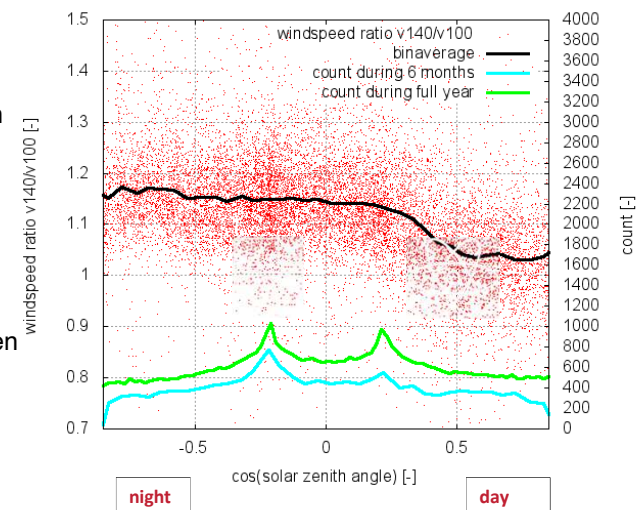
- Nutzt Abhängigkeit von atmosphärischer Stabilität



Saisonale Korrektur der Windprofilmessungen

Stabilitätsparameter Sonnenhöhe

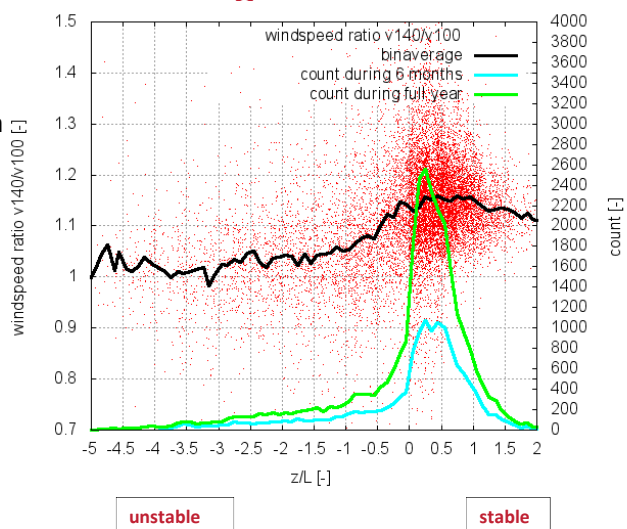
- Windgeschwindigkeitsverhältnis aus zwei Höhen versus Sonnenzenithwinkel.
- Die Windscherung gültig für ein volles Jahr wird ermittelt durch Wichtung der Bin-Mittel aus der Kurzzeitmessung (schwarz) entsprechend der Häufigkeit in einem vollen Jahr (grün).
- kann windrichtungsabhängig durchgeführt werden



Saisonale Korrektur der Windprofilmessungen

Stabilitätsparameter z/L aus MERRA-Daten

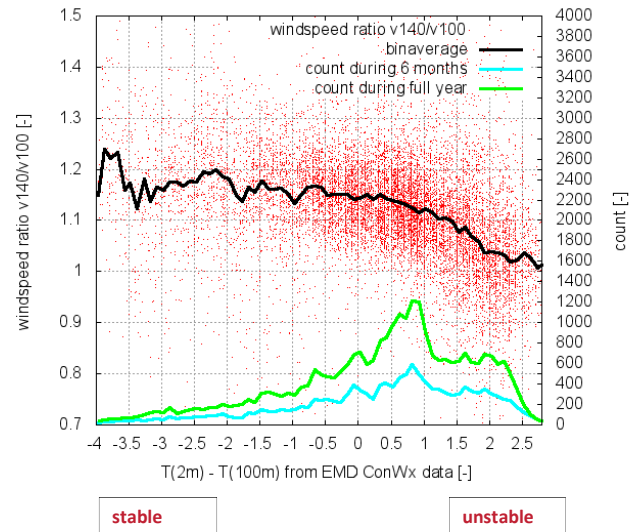
- Windgeschwindigkeitsverhältnis aus zwei Höhen versus z/L.



Saisonale Korrektur der Windprofilmessungen

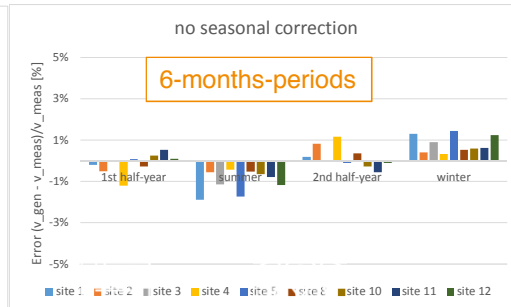
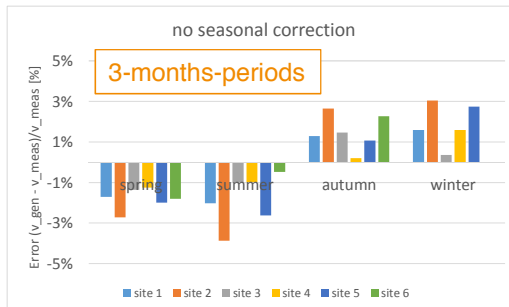
Stabilitätsparameter Temperaturdifferenz aus EMD ConWx-Daten

- Windgeschwindigkeitsverhältnis aus zwei Höhen versus Temperaturdifferenz.

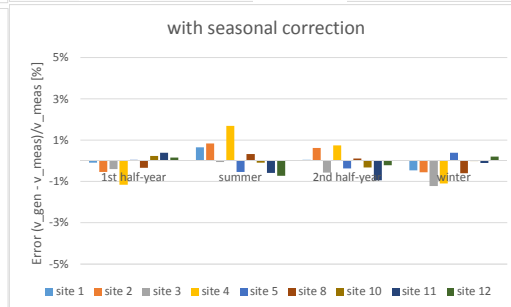
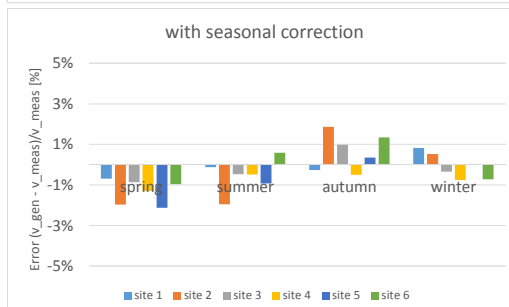


Saisonale Korrektur der Windprofilmessungen

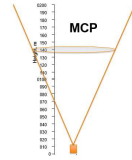
Ohne Korrektur



Mit Korrektur



MCP Korrelation

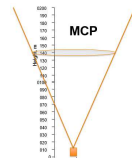


- MCP von 10-Minutendaten
- Generation der fehlenden Daten mit MCP
- Vergleich der mittleren Windgeschwindigkeit
- Vergleich Energieertrag einer 4.2 MW Turbine
- MCP: LLS Methode

Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez



Langzeitdaten



MERRA2:

- NASA Center für Climate Simulation (NCCS)
- Spatial resolution of 50 km
- Used height level: 50 m

ERA5:

- Released by Copernicus Climate Change Service (C3S) and ECMWF
- Spatial resolution of 31 km
- Used height level: 100 m

EMD-ConWx:

- collaboration between EMD and ConWx
- spatial resolution of 3x3 km
- Initiated with ERA Interim
- Used height level: 150 m

WRF:

- Weather Research and Forecasting (WRF) model
- Run by UL-AWS Truepower
- initialized by ERA Interim
- Resolution: 9 km, hourly resolution
- Used height level: 140 m



SCADA:

- Wind turbines with high hub height

Langzeitdaten

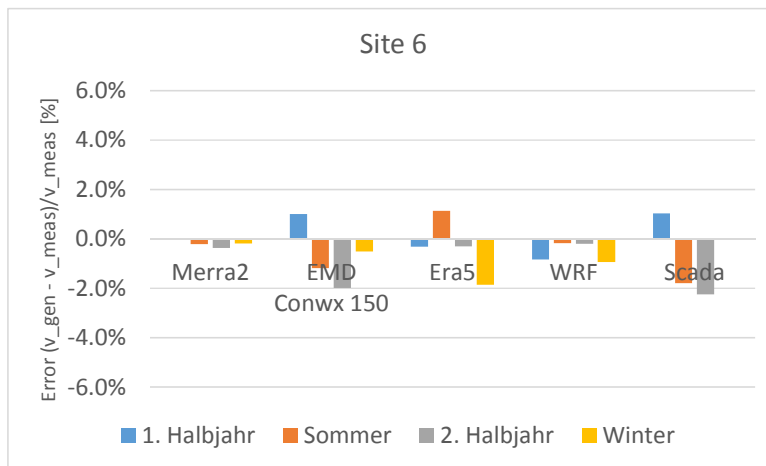
- Korrelation im Winter am höchsten
- Im Sommer am niedrigsten

R (v_meas, EMD Conwx 150)													
Site	Site 1	Site 2	Site 3	Site 4	Site 5	Site 6	Site 7	Site 8	Site 9	Site 10	Site 11	Site 12	average
1st half-year summer	84%	83%	79%	85%	79%	80%	83%	87%	79%	84%	82%	82%	82%
2nd half-year winter	80%	76%	76%	78%	74%	71%	75%	78%	69%	74%	71%	71%	74%
1st half-year summer	86%	83%	80%	79%	80%	78%	81%	86%	76%	78%	82%	82%	81%
2nd half-year winter	85%	85%	81%	86%	81%	84%	87%	90%	82%	84%	86%	86%	85%
R (v_meas, MERRA2)													
Site	Site 1	Site 2	Site 3	Site 4	Site 5	Site 6	Site 7	Site 8	Site 9	Site 10	Site 11	Site 12	average
1st half-year summer	81%	85%	80%	84%	74%	86%	85%	85%	82%	86%	84%	79%	83%
2nd half-year winter	79%	77%	78%	77%	71%	78%	79%	78%	74%	79%	75%	70%	76%
1st half-year summer	84%	84%	80%	77%	75%	81%	85%	84%	80%	81%	84%	73%	81%
2nd half-year winter	83%	87%	81%	84%	76%	87%	89%	88%	85%	86%	87%	82%	85%
R (v_meas, ERA5)													
Site	Site 1	Site 2	Site 3	Site 4	Site 5	Site 6	Site 7	Site 8	Site 9	Site 10	Site 11	Site 12	average
1st half-year summer	87%	85%	86%	88%	77%	86%	86%	90%	82%	89%	86%	82%	85%
2nd half-year winter	85%	79%	84%	81%	75%	78%	79%	83%	74%	84%	77%	74%	79%
1st half-year summer	89%	85%	86%	83%	78%	84%	84%	88%	80%	86%	86%	78%	84%
2nd half-year winter	89%	87%	86%	89%	78%	89%	88%	91%	85%	89%	89%	84%	87%
R (v_meas, WRF 9 km)													
Site	Site 1	Site 2	Site 3	Site 4	Site 5	Site 6	Site 7	Site 8	Site 9	Site 10	Site 11	Site 12	average
1st half-year summer	84%	84%	82%	85%	77%	82%	82%	87%	79%	82%	83%	75%	82%
2nd half-year winter	79%	76%	79%	78%	77%	74%	74%	79%	71%	71%	71%	67%	75%
1st half-year summer	85%	85%	84%	79%	80%	79%	81%	85%	75%	75%	84%	73%	80%
2nd half-year winter	82%	87%	85%	86%	78%	85%	86%	89%	81%	82%	87%	79%	84%



MCP Ergebnisse, Beispiel

Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez

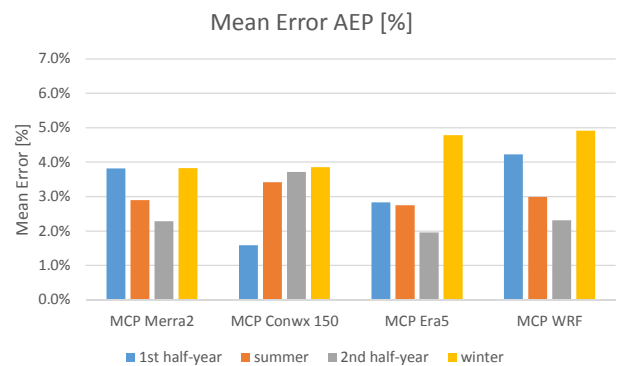
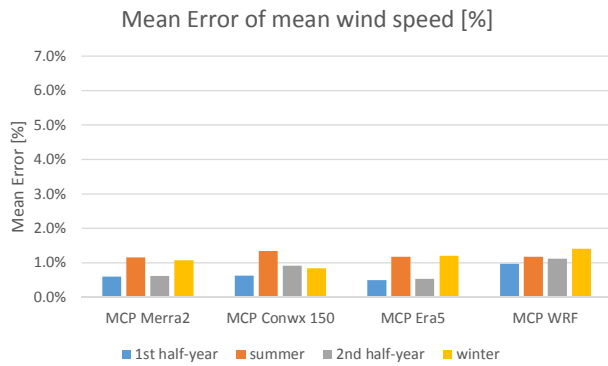


Mittlere Abweichung in Windgeschwindigkeit und Energieertrag

V

Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez

Energieertrag

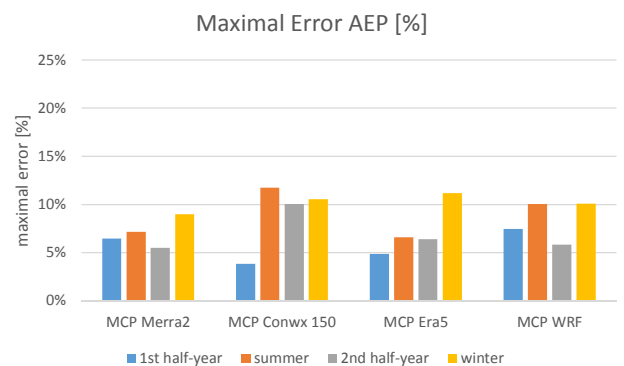
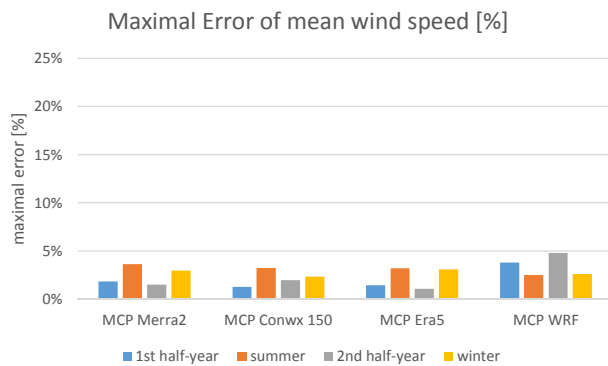


Maximale Abweichung in Windgeschwindigkeit und Energieertrag

V

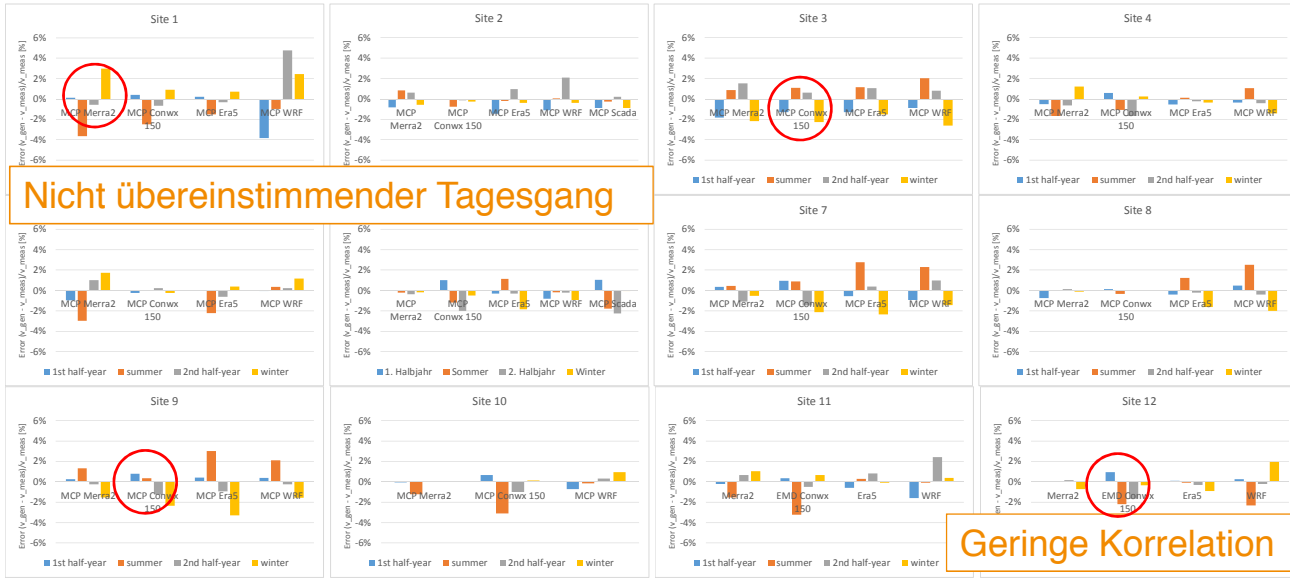
Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez

Energieertrag



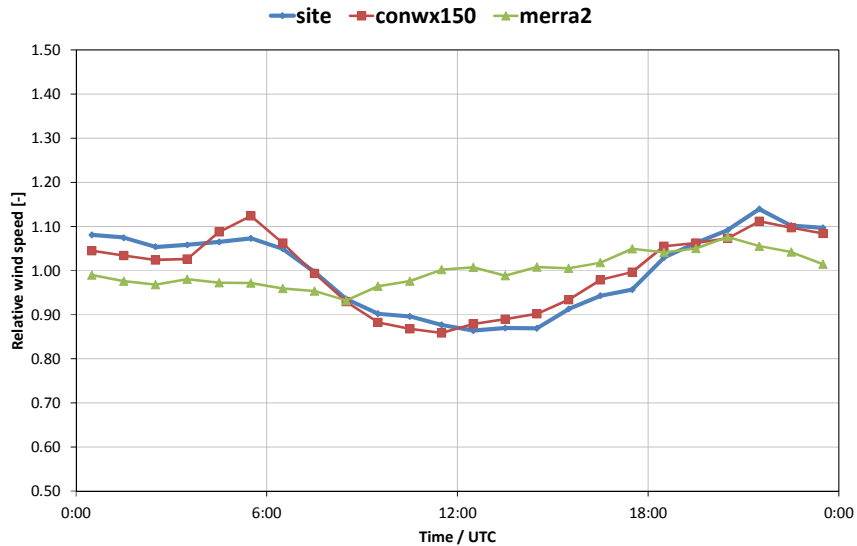
Gründe für schlechte MCP- Ergebnisse

Site	Site 1	Site 2	Site 3	Site 4	Site 5	Site 6	Site 7	Site 8	Site 9	Site 10	Site 11	Site 12
1st half-year	84%	83%	79%	85%	79%	80%	83%	87%	79%	84%	82%	82%
summer	80%	76%	76%	78%	74%	71%	75%	78%	69%	74%	71%	71%
2nd half-year	86%	83%	80%	79%	80%	76%	81%	86%	76%	78%	82%	82%
winter	85%	85%	81%	86%	81%	84%	87%	90%	82%	84%	86%	86%



Gründe für schlechte MCP- Ergebnisse

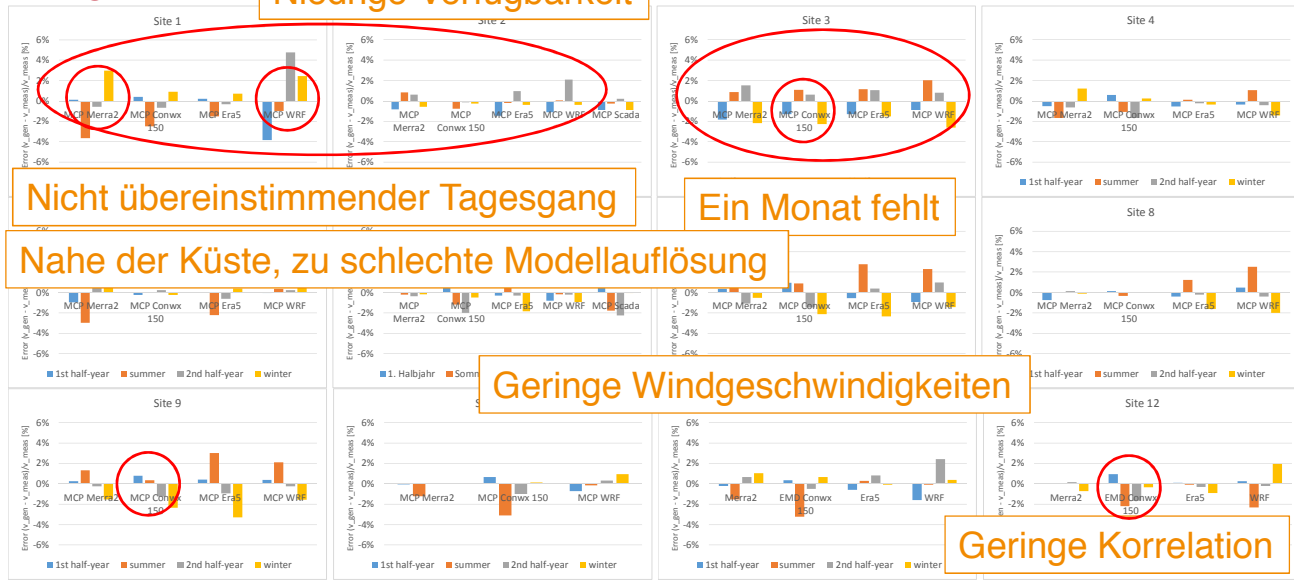
- Poor agreement of diurnal variation



Gründe für schlechte MCP- Ergebnisse

Niedrige Verfügbarkeit

Site	R (v. meas, EMD Conwx 150)											
	Site 1	Site 2	Site 3	Site 4	Site 5	Site 6	Site 7	Site 8	Site 9	Site 10	Site 11	Site 12
1st half-year	84%	83%	79%	85%	79%	80%	83%	87%	79%	84%	82%	82%
summer	80%	76%	76%	78%	74%	71%	75%	78%	69%	74%	71%	71%
2nd half-year	86%	83%	80%	79%	80%	76%	81%	86%	76%	78%	82%	82%
winter	85%	85%	81%	86%	81%	84%	87%	90%	82%	84%	86%	86%



Ergebnisse

- 12 Windmessung in Deutschland
- **Windprofilauswertung:** Halbjahresperioden waren schon ausreichend repräsentativ für Langzeit.
- Die saisonale Korrektur funktionierte auch für 6-Monats-Windprofile-Messungen in Winter- oder Sommerzeiträumen gut.
- Große Reduktion der Unsicherheiten bei Verlängerung von 3 Monate auf 6 Monate.
- **MCP Korrelation:** in diesem Datensatz mittlerer Fehler von 1% in der Windgeschwindigkeit und 3% im Energieertrag.
- ERA5 und ConWx beste Ergebnisse, ERA5 hatte die höchste Korrelation zu den Messdaten.
- Ausblick: MCP mit WRF 3km, WRF mit ERA5, mehr Tests mit Scada-Daten, Tests mit anderen MCP-Methoden
- Profilauswertung **versus** MCP Korrelation? ... beide Methoden können sich ergänzen!
Zusätzliche Plausibilisierung mit Ertragsdaten.





Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

UL and the UL logo are trademarks of UL LLC © 2018.