33. Windenergietage

ENTSCHEIDUNGEN –

DENN ES IST IHRE WELT

Forum 8

anemos: Wind & Ertrag

schneller und genauer

Wind, Ertrag & Erlös / TR10 / F & E

anemos Gesellschaft für Umweltmeteorologie mbH
Böhmsholzer Weg 3, D-21391 Reppenstedt
www.anemos.de

Windgutachten

WAsP / CFD, Standorteignung
Betriebseinschränkungen
Standortgüte, Due Diligence
Windmessung (Mast, Lidar)

Mesoskalige Modellierung WRF

Windatlas Optimierung, 50-Jahres
Extremwert, Vereisung, Index
Turbulenzintensität, 10-min. Zeitreihen

SCADA-Daten Analyse

Standortgüte (TR10), Optimierung
Performance Check / Due Diligence
Portfolio Analyse (Wind+Solar)

Strommarktanalysen

Marktwert- u. Profilwertatlas
Erlösgutachten
Risikobewertung für PPA's

awis

Online Datenzugang
(Zeitreihen, Karten, Statistiken, Index)
Windpotential, Ertragsberechnung
Marktwertatlas, PPA-Atlas

Forschung & Entwicklung

OTELLO, STRAIGHT, Bayerischer & UBA
Windatlas, SunDAY, VERIMA, Roadmap
Windatlas, WinBin II, SOPCAWIND

Windgutachten

WAsP / CFD, Standorteignung
Betriebseinschränkungen
Standortgüte, Due Diligence
Windmessung (Mast, Lidar)

Mesoskalige Modellierung WRF

Windatlas Optimierung, 50-Jahres Extremwert, Vereisung, Index
Turbulenzintensität, 10-min. Zeitreihen

SCADA-Daten Analyse

Standortgüte (TR10), Optimierung
Performance Check / Due Diligence
Portfolio Analyse (Wind+Solar)

Strommarktanalysen

Marktwert- u. Profilwertatlas
Erlösgutachten
Risikobewertung für PPA's

awis

Online Datenzugang
(Zeitreihen, Karten, Statistiken, Index)
Windpotential, Ertragsberechnung
Marktwertatlas, PPA-Atlas

Forschung & Entwicklung

OTELLO, STRAIGHT, Bayerischer & UBA Windatlas, SunDAY, VERIMA, Roadmap Windatlas, WinBin II, SOPCAWIND

Session: Teil 1

Meso-Mikro-Kopplung
9:35 Uhr: Simulation von Wind- und Ertragszeitreihen durch einen Meso-Mikro-Downscaling-Ansatz (**anemos**)

Ertragsverluste
9:55 Uhr: Erste Ergebnisse einer deutschlandweiten Modellierung von zeitreihenbasierten Ertragsverlusten (***Fraunhofer IEE***)

1 km Windatlas
10:25 Uhr: Windpotential berechnen mit dem neuen 1km Windatlas für Deutschland – Qualitätsverbesserungen und Anwendungsmöglichkeiten (**anemos**)

Ertrag mit TI-Zeitreihen
11:00 Uhr: Schnelle und genaue Ertragsberechnungen mit dem 1 km Windatlas – Qualitätsverbesserung durch TI-Zeitreihen (**anemos**)

Kaffeepause
11:30 – 11:45

Session: Teil 1

Meso-Mikro-Kopplung
9:35 Uhr: Simulation von Wind- und Ertragszeitreihen durch einen Meso-Mikro-Downscaling-Ansatz (**anemos**)

Ertragsverluste
9:55 Uhr: Erste Ergebnisse einer deutschlandweiten Modellierung von zeitreihenbasierten Ertragsverlusten (***Fraunhofer IEE***)

1 km Windatlas
10:25 Uhr: Windpotential berechnen mit dem neuen 1km Windatlas für Deutschland – Qualitätsverbesserungen und Anwendungsmöglichkeiten (**anemos**)

Ertrag mit TI-Zeitreihen
11:00 Uhr: Schnelle und genaue Ertragsberechnungen mit dem 1 km Windatlas – Qualitätsverbesserung durch TI-Zeitreihen (**anemos**)

Session: Teil 2

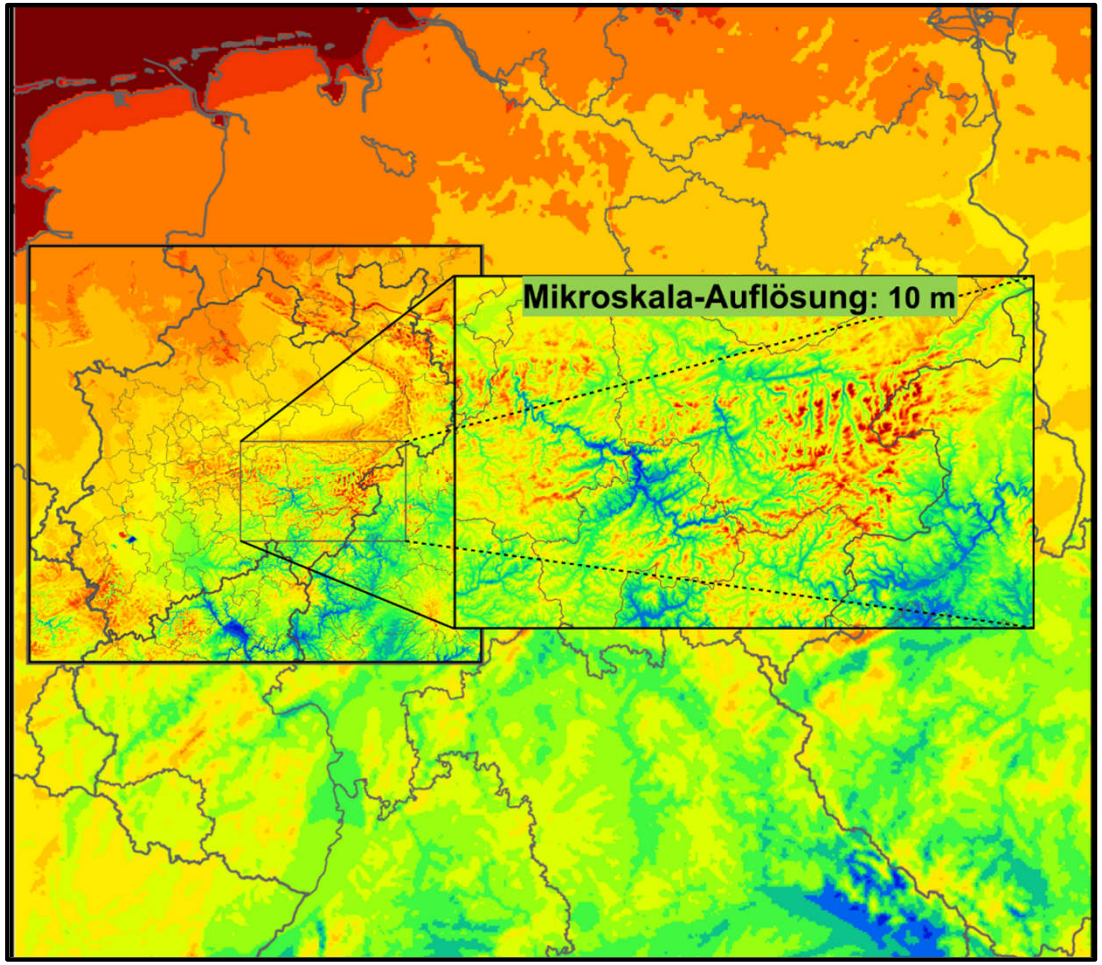
Kaffeepause
11:30 – 11:45

Messstrategie
11:45 Uhr: Messstrategie statt Lotterie – so wird ihr Windprojektwert planbar (***Pavana***)

TR10 Standortgüte
12:10 Uhr: Standortgüte nach Inbetriebnahme (TR10) – Kurzprüfung, Prognose und Testat (**anemos**)

Direktvermarktung
12:40 Uhr: Von Schall bis Fledermaus: Bewertung von Betriebsauflagen für die Direktvermarktung (***enervis***)

Simulation von Wind- und Ertragszeitreihen durch einen Meso-Mikro-Downscaling-Ansatz



Projekt SunDAY

Gefördert durch:

Bundesministerium für Wirtschaft und Energie

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Martin Schneider, Joachim Geyer, Markus Kilian, Heinz-Theo Mengelkamp

anemos

Die Berechnungsgrundlage für eine große Mehrzahl der Wind- und Ertragsgutachten (zumindest in Deutschland) sind lineare Strömungsmodelle (WAsP / WindPro / MS-Micro).

WAsP wurde in den 1980ern in Dänemark entwickelt für flaches Gelände und kleine Nabenhöhen.
Die Winddatenbasis sind Wetterstationsdaten / lokale Messungen.

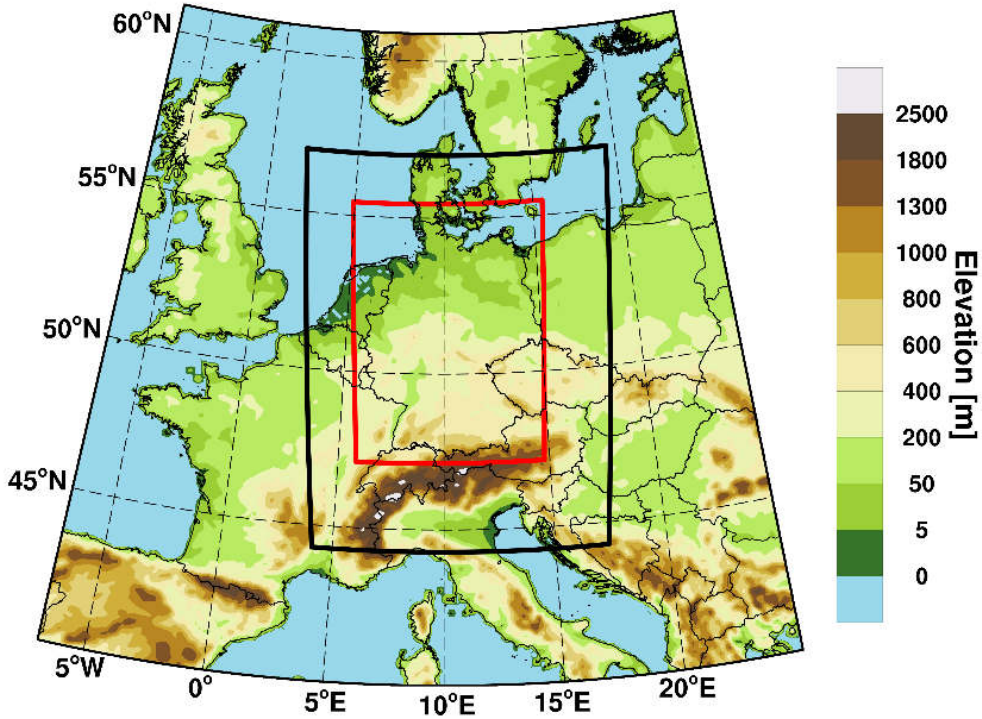
Trotz bekannter Anwendungsgrenzen wird das Modell auch heute noch angewendet, oft auch außerhalb der theoretischen Grenzen.

Welche Alternative gibt es ?

	WAsP / WindPro MS-Mikro		moderne Windturbine	Mesoskala Modell (WRF)	CFD Modell	WRF / CFD gekoppelt
	Theory	Anwendung		Theory		Anwendung
Gitter horizontal	Fourier-Reihe	flaches Gelände	flaches + komplexes Gelände	Navier-Stokes Gleichung	Navier-Stokes Gleichung	vollst. Gebiet
vertikal	logarithm. + geostroph. Windbedingungen (empirisch)	< ~ 100 m	> 150 m	vollst. Physik	Impuls + (Temperatur)	alle Höhen
zeitl. Auflösung	Weibull f(u)	Mittel, f(u)	u(t), P(t)	u(t)	u'(x,y,z,S,dd)	Δt ~ 10 min
räuml. Auflösung	~ 10 m		> 10 m	> 1000 m	> 10 m	> 10 m

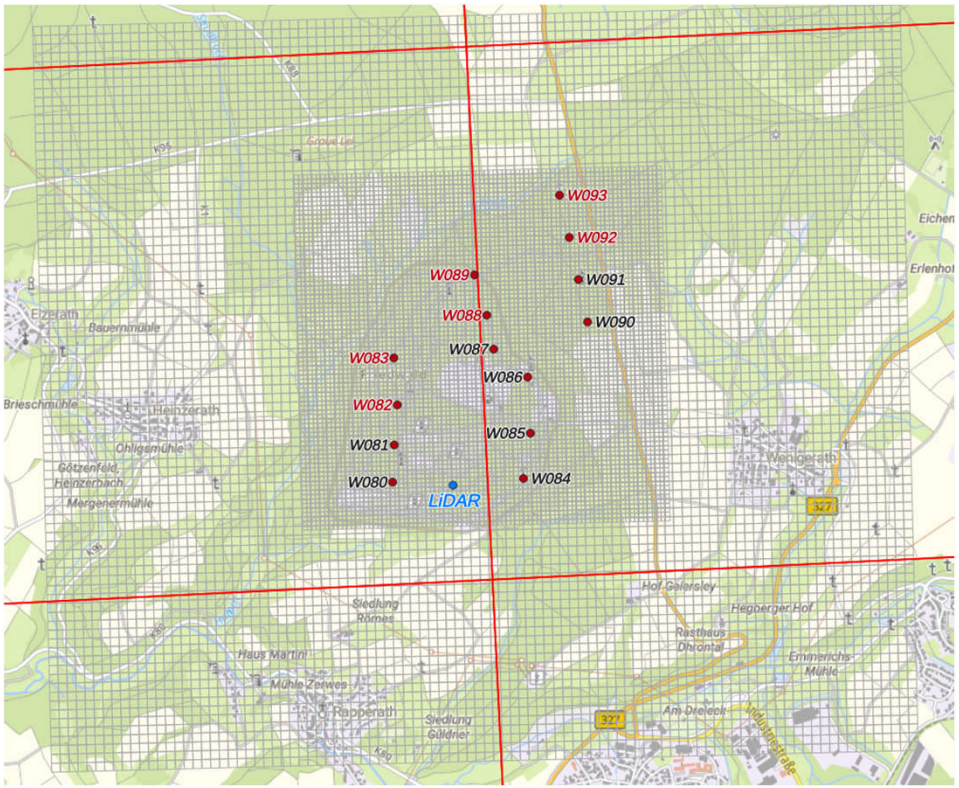
WRF

Weather Research and Forecast model



Meteodyn WT

CFD model



anemos Windatlas

Δx = 3 km

Δt = 10 min

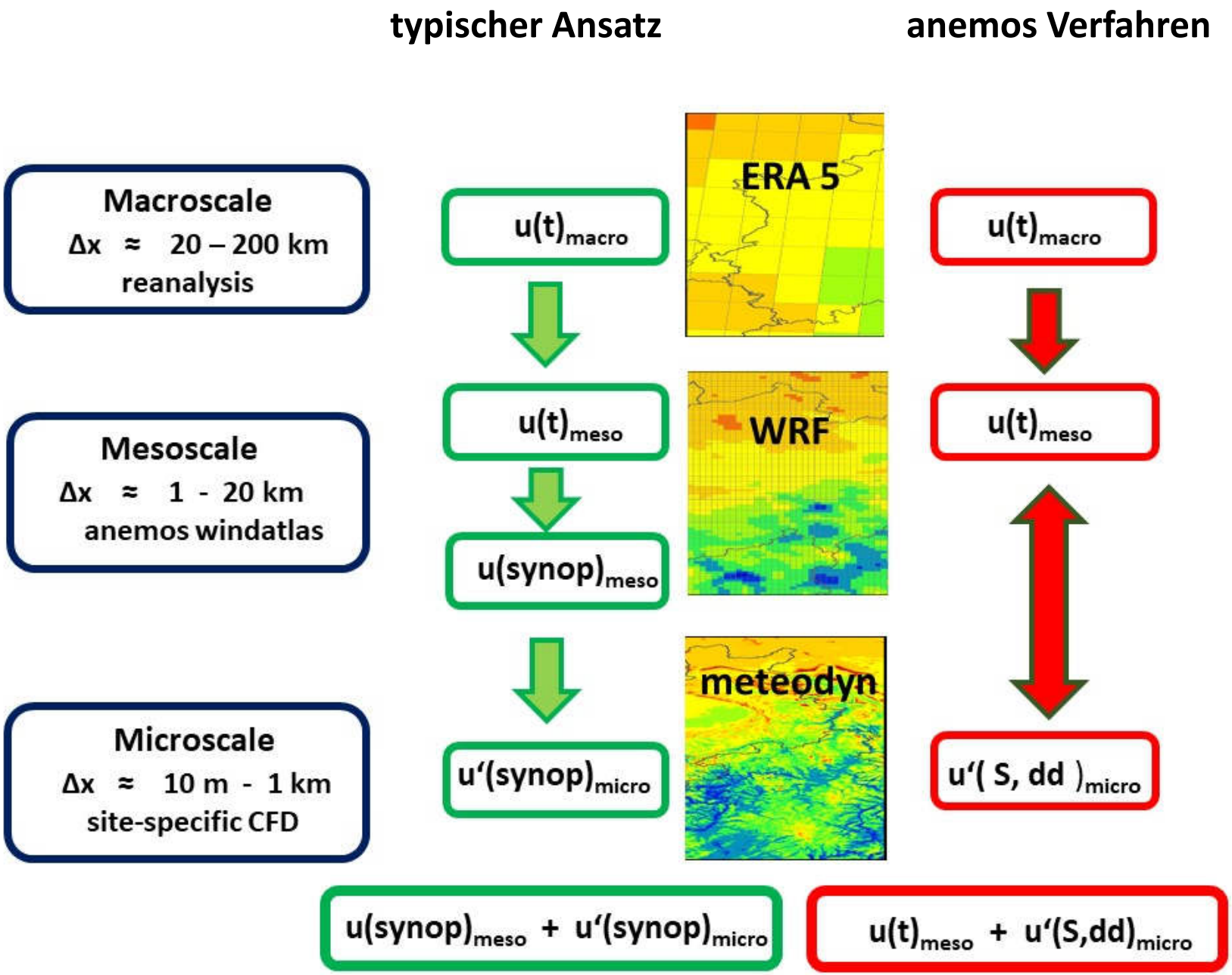
Zeitraum = 1990 - today

Standortgenaue Simulation

Δx = > 10 m

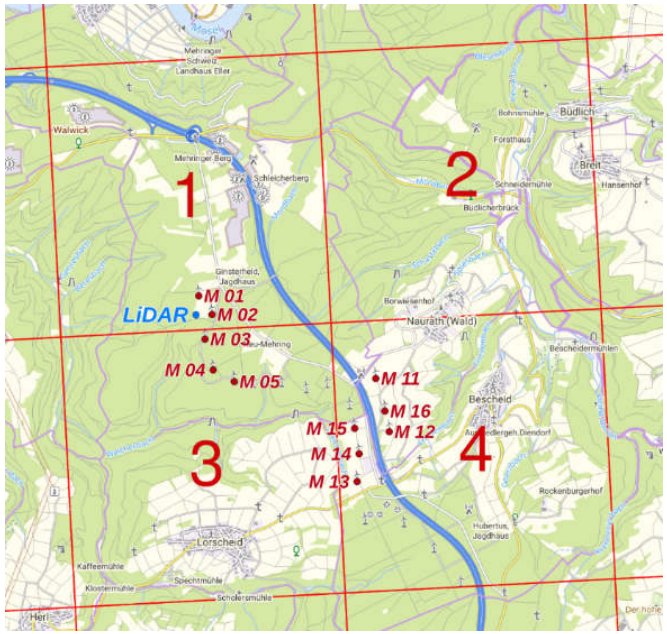
Δt = Statistiken

Zeitraum = zeitl. unabhängig


typischer Ansatz
anemos Verfahren
Macroscale
Δx ≈ 20 – 200 km
reanalysis
Mesoscale
Δx ≈ 1 - 20 km
anemos windatlas
Microscale
Δx ≈ 10 m - 1 km
site-specific CFD
u(t)macro
u(t)meso
u(synop)meso
u'(synop)micro
ERA 5
WRF
meteodyn
u(t)macro
u(t)meso
u'(S, dd)micro
u(synop)meso + u'(synop)micro
u(t)meso + u'(S,dd)micro

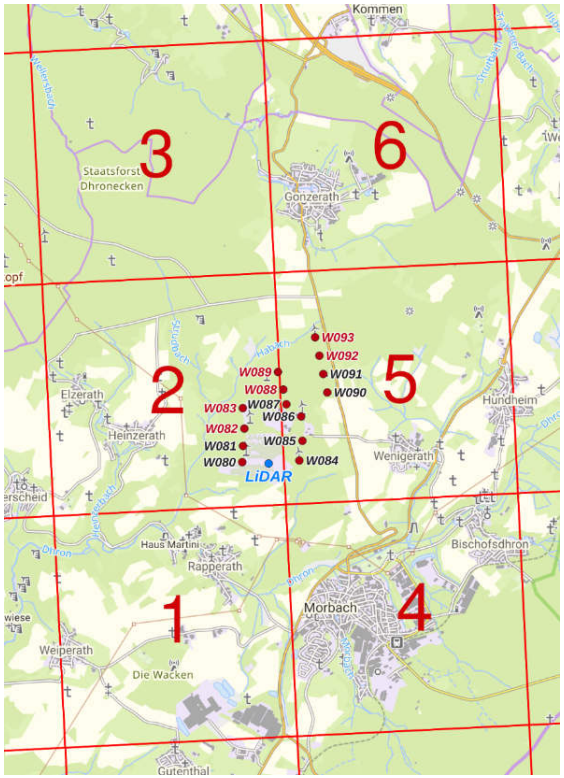
Standort A

Sommer



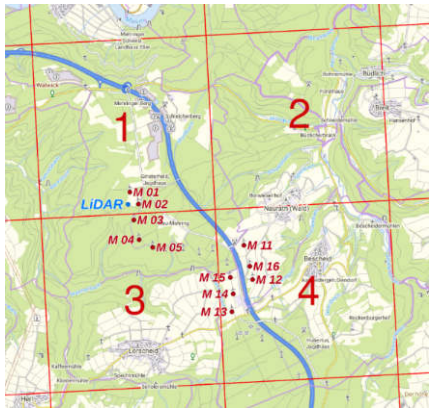
Standort B

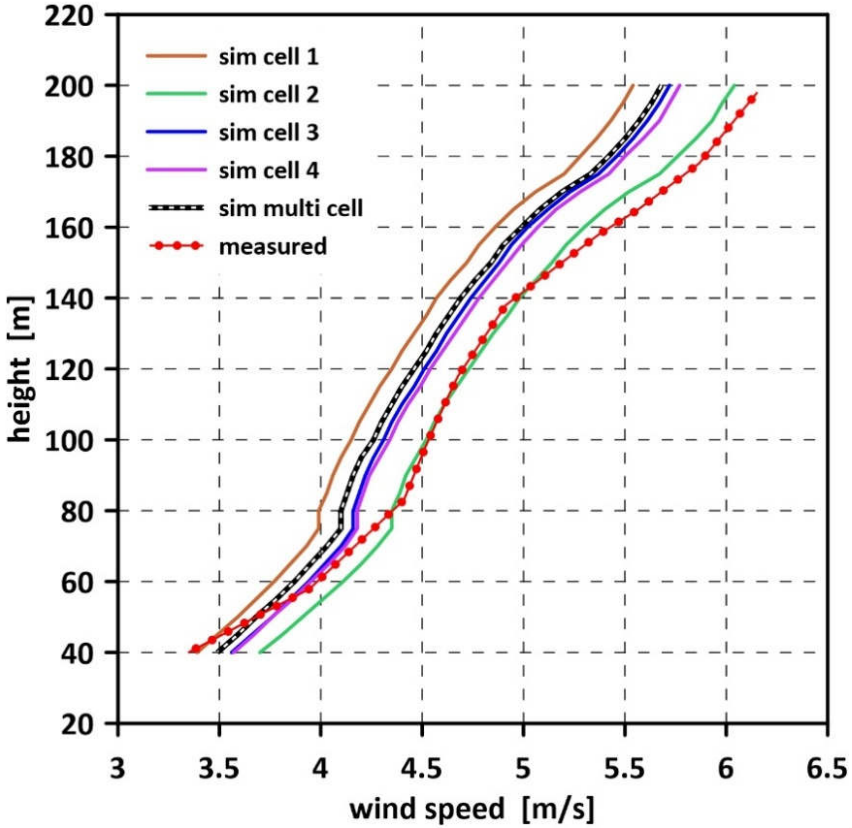
Winter



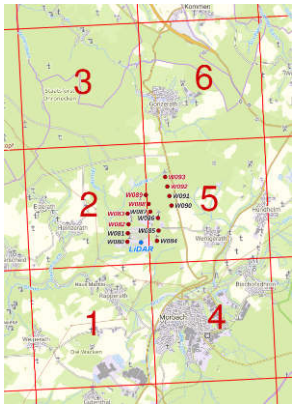
Standort	Messgerät	Messhöhe [m]	Messzeitraum	Info
A	1 x LiDAR		01.03.2022 – 31.07.2022	
	5 x ENERCON-E70 E4 5 x ENERCON-E70 E4 1 x ENERCON E82	113,5 85,0 85,0	01.01.2016 – 31.08.2022	Monatserträge mit Verfügbarkeiten
B	1 x LiDAR		02.09.2016 – 06.03.2017	
	6 x VESTAS V80-2.0	100,0	01.01.2016 – 31.08.2017	SCADA Daten

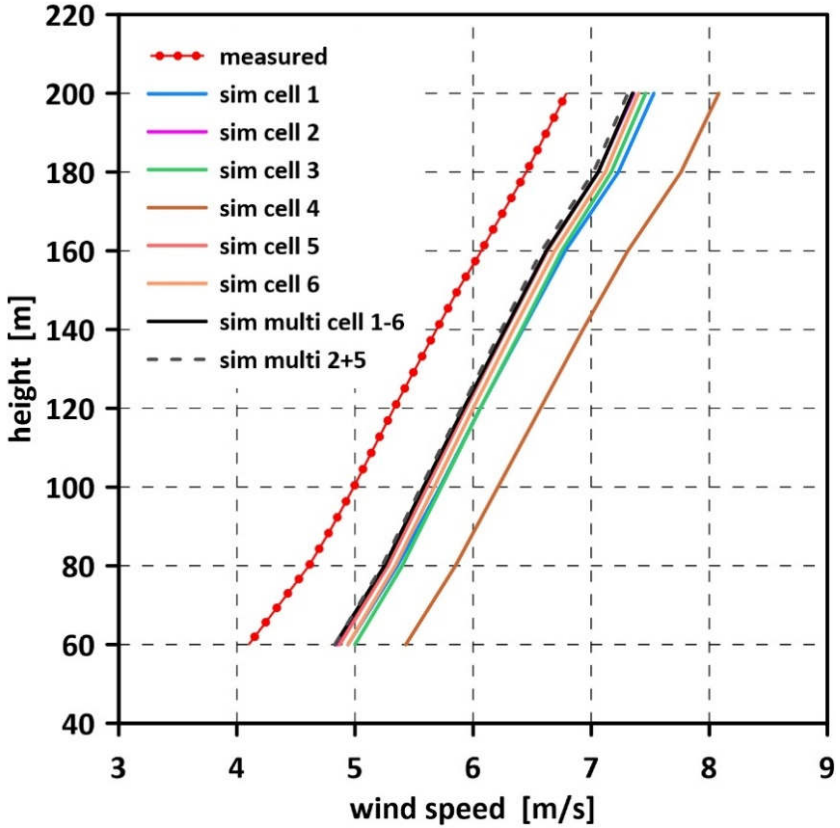
Standort A Sommer



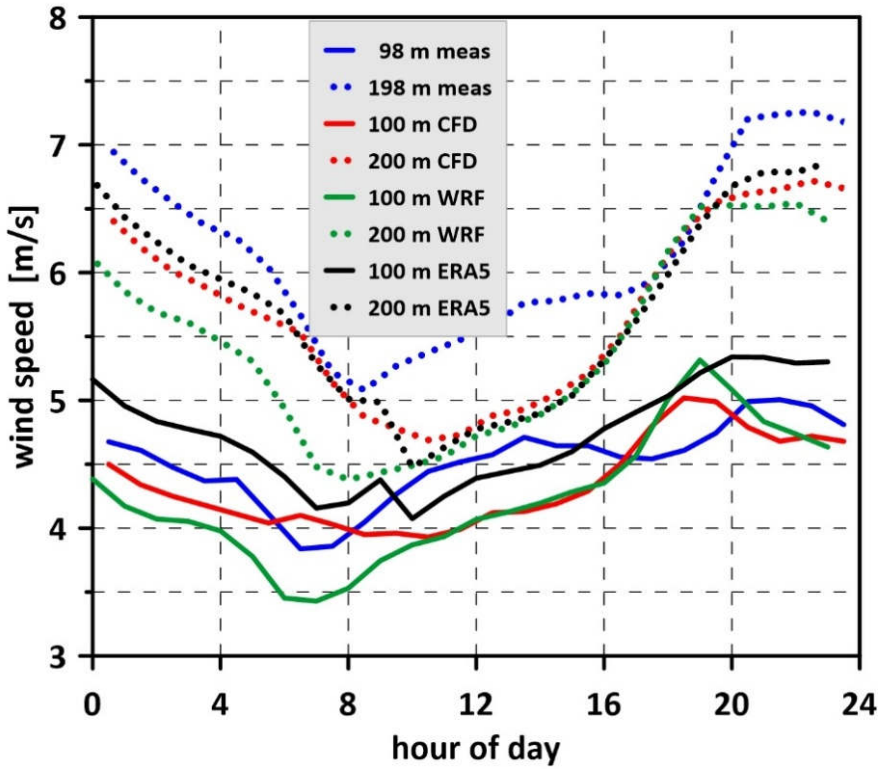


Standort B Winter

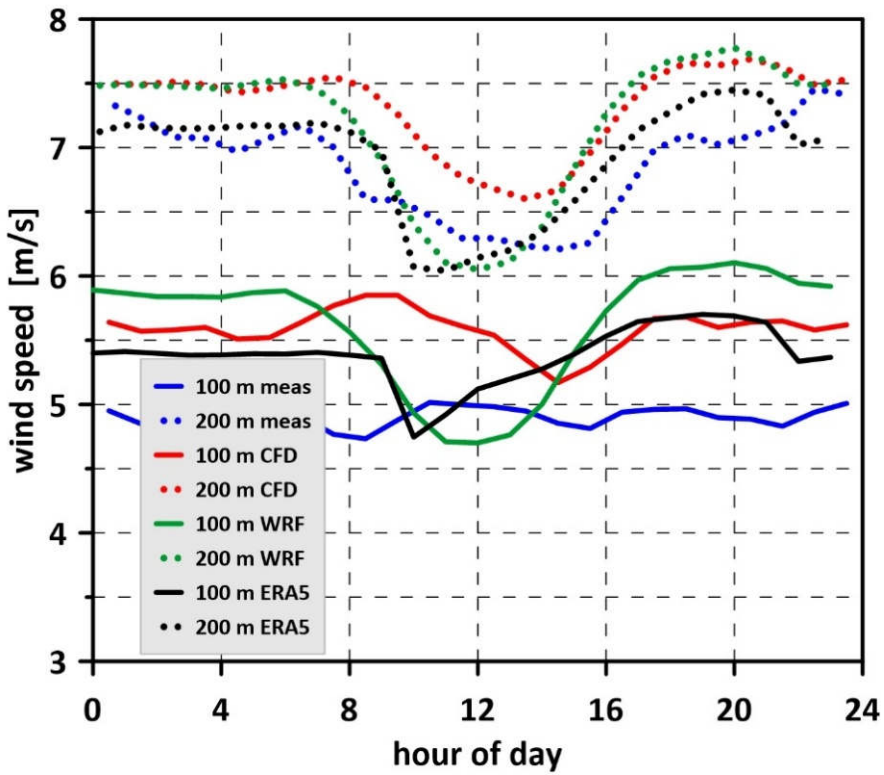




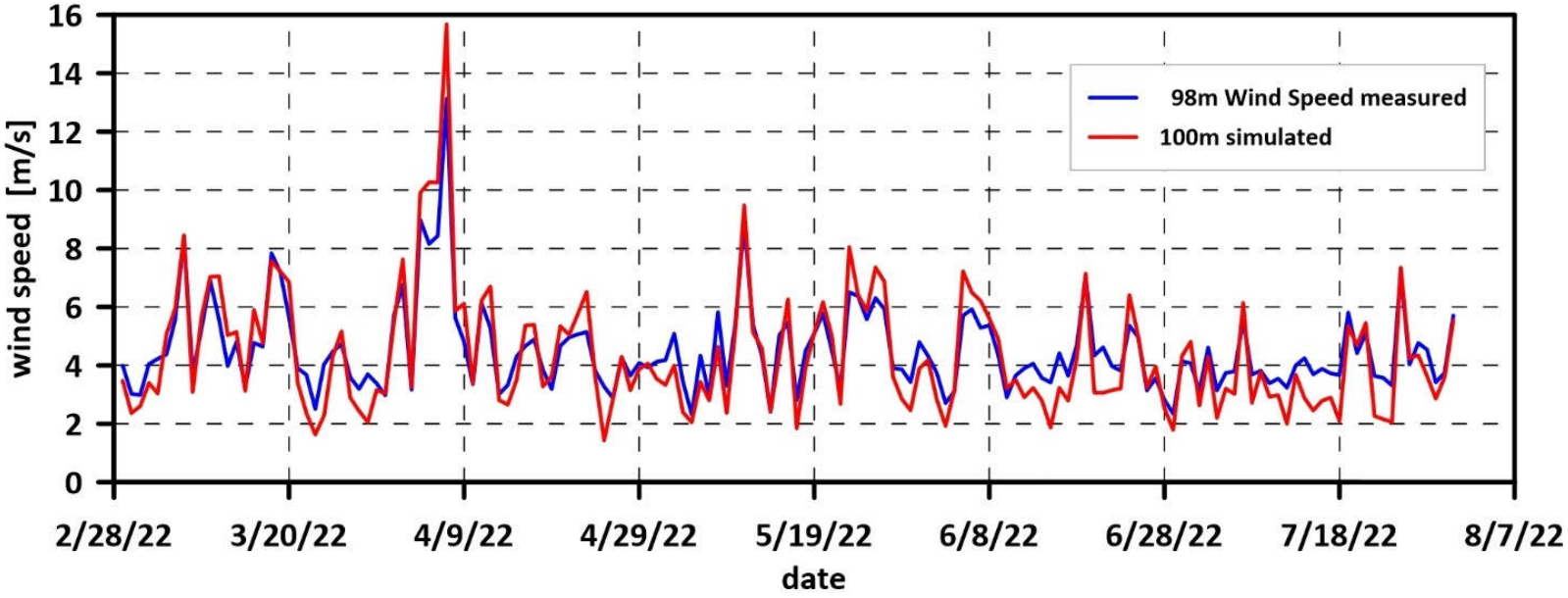
Standort A Sommer



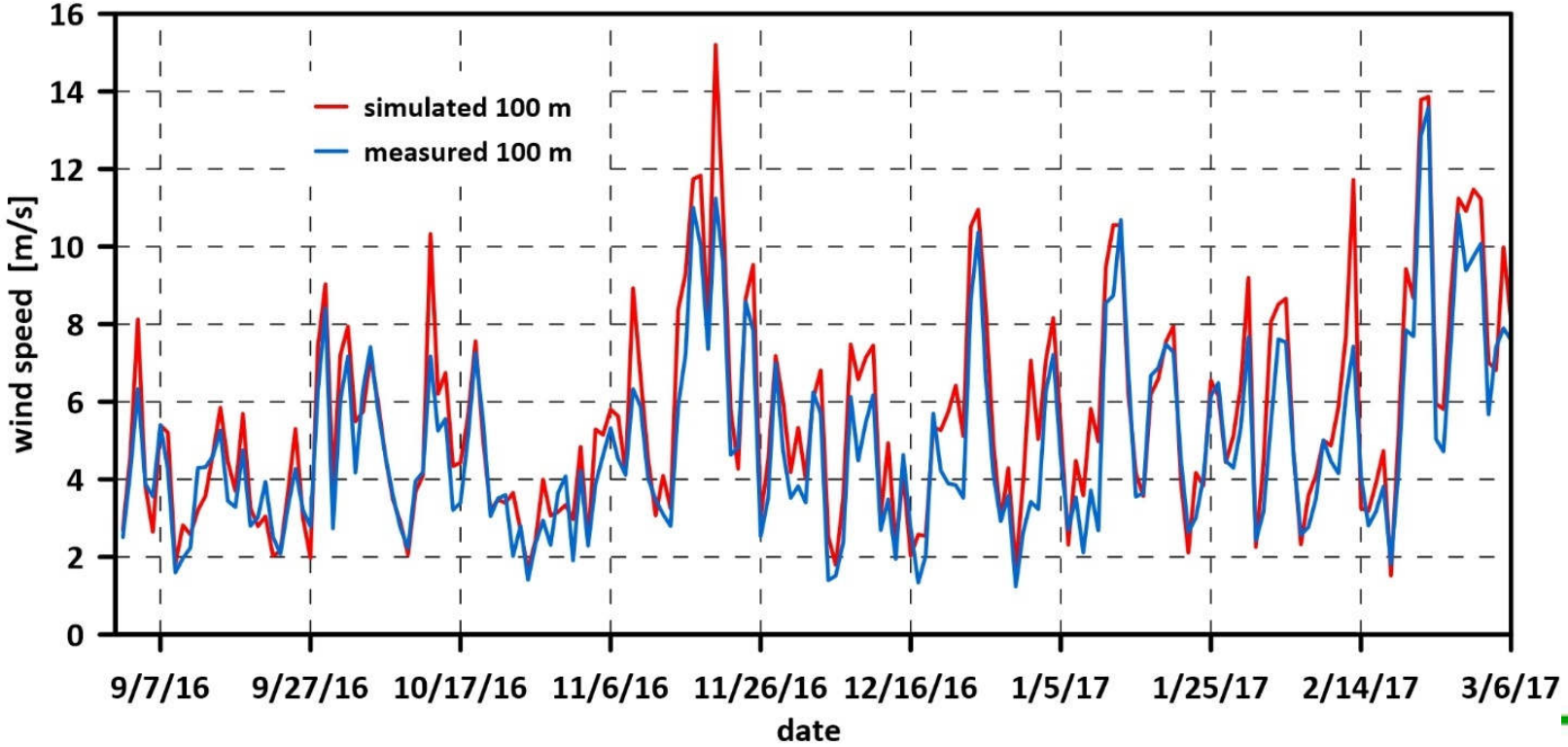
Standort B Winter



Zeitreihen - Windgeschwindigkeit

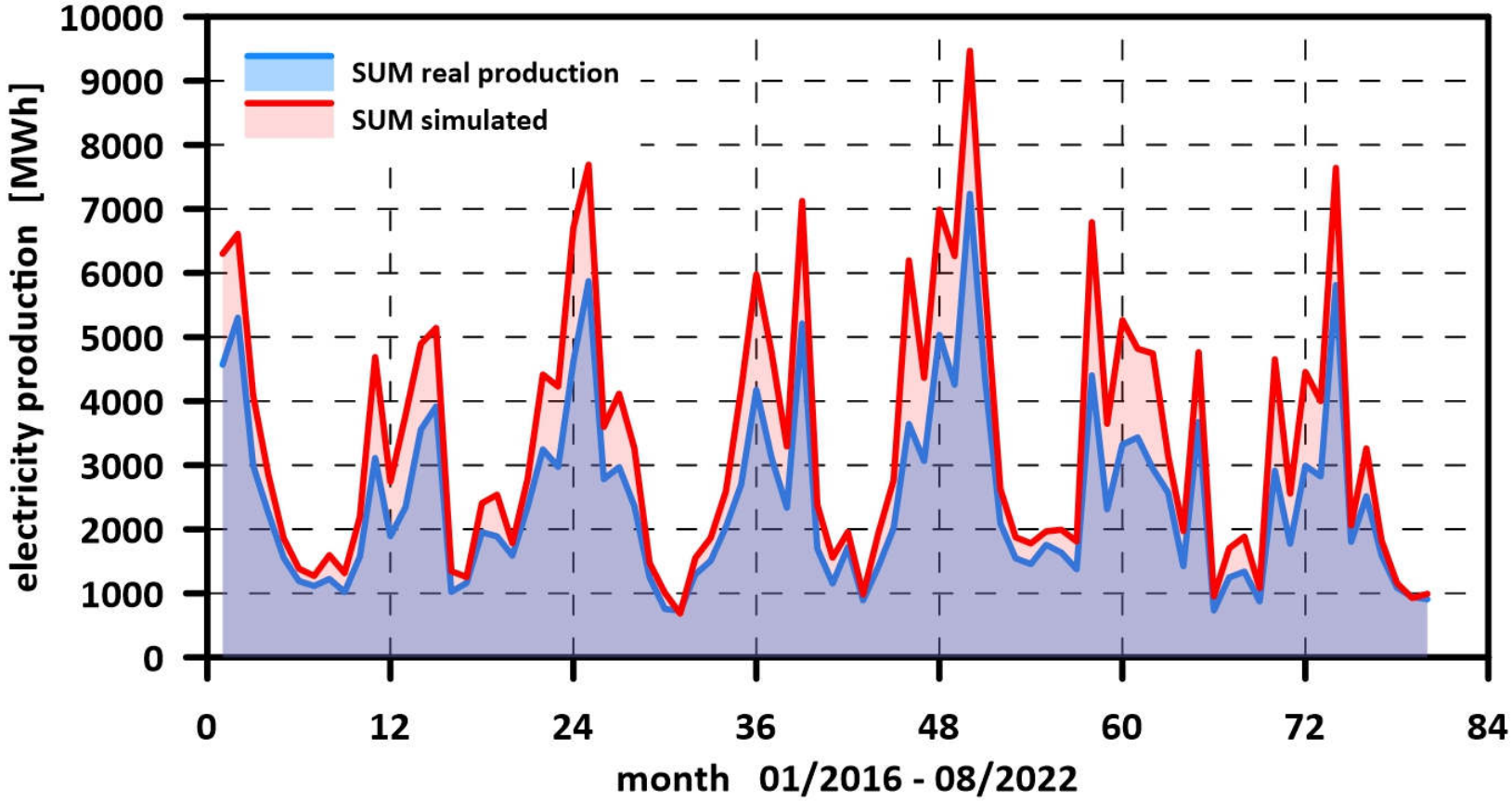


Standort A
ohne Kalibrierung



Standort B
Kalibrierung mit dem Faktor 0.89

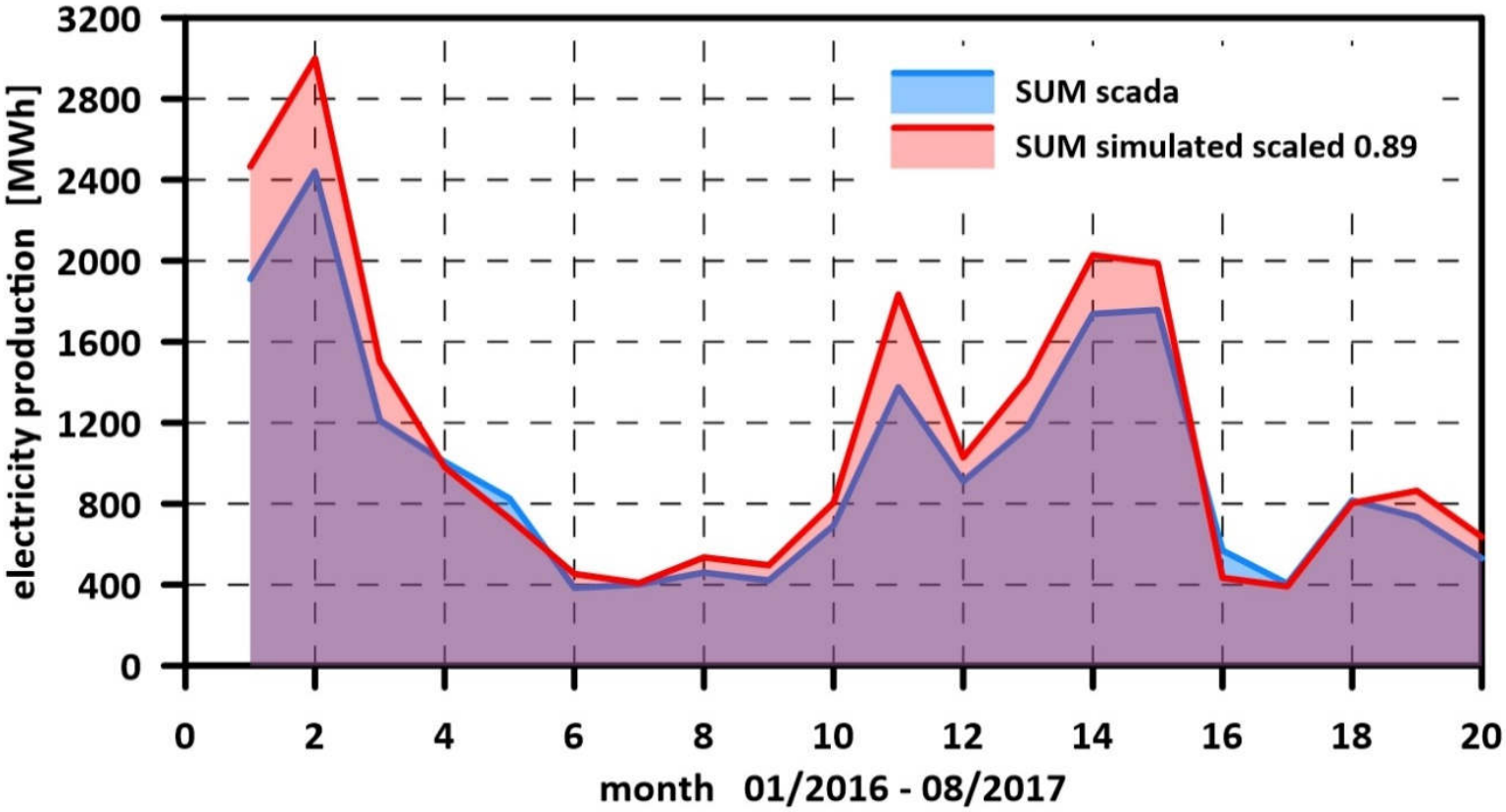
Standort A
ohne Kalibrierung, nur monatliche Erträge und Verfügbarkeiten



Summe der monatlichen Energieerträge der Turbinen 1–4 und 11–16
am Standort A für den Zeitraum Januar 2016 bis August 2022

Standort B

Kalibrierung mit dem Faktor 0.89, SCADA-Daten Analyse



Summe der monatlichen Energieerträge aller Turbinen am Standort B, simuliert (Windgeschwindigkeit um 0,89 skaliert) und SCADA-Daten für den Zeitraum Januar 2016 bis August 2017

Windgeschwindigkeits- und Ertragszeitreihen werden mit einer Kopplung eines Mesoskala- mit einem Mikroskala Modell realistisch simuliert

- Keine Einschränkungen mehr bzgl. der Geländekomplexität und der Nabenhöhe
- Verlustberechnungen durch 10-min Zeitreihen genauer
- Strompreis- und Marktwertberechnungen realistischer
- Bei richtigem Windpotential und Hersteller-LK wird der Ertrag überschätzt

Vor-Ort Messungen dienen der Anpassung der Simulationsergebnisse

Mittlerweile sind die erforderlichen IT-Resourcen auch für Consulting Firmen verfügbar.

Demnächst: anemos Windatlas mit 1 km Auflösung wird mit Meteodyn gekoppelt

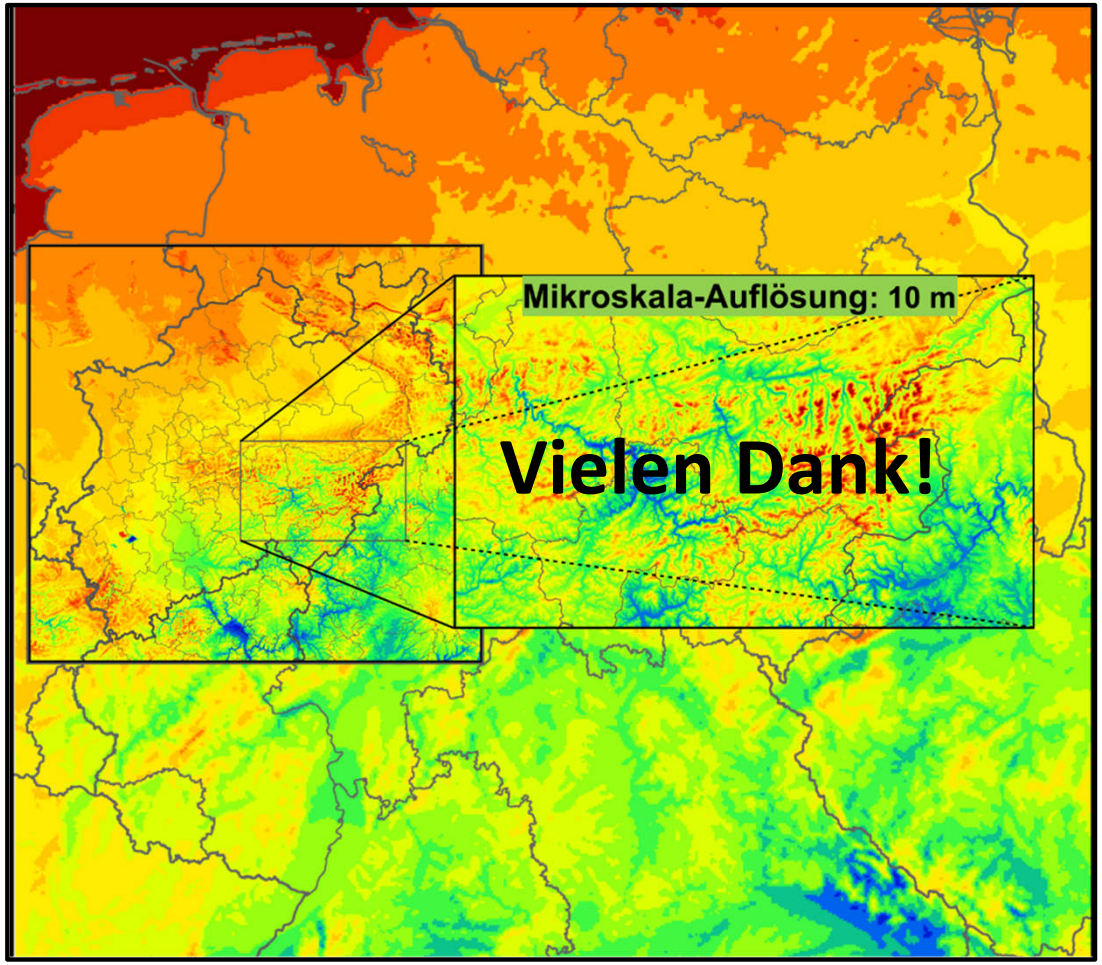
- bessere Korrektur des Mesoskala Modells (Tagesgang, Jahresgang, Vertikalprofil)
- geringere Anpassung der Ergebnisse des gekoppelten Systems erforderlich
- für die Anpassung eventuell kürzere Messzeiträume ausreichend (Jahreszeit)

Danke an wiwi Dr. Jörn Parplies für die Bereitstellung der Daten

Veröffentlichung:

Heinz-Theo Mengelkamp, Joachim Geyer, Markus Kilian, Martin Schneider, 2025:
Simulation of wind speed and wind turbine yield time series by a meso-micro downscaling approach
Meteorol. Z. (Contrib. Atm. Sci.), DOI: 10.1127/metz/20242 - open access
https://anemos.de/de/informationen.php#artikel

Simulation von Wind- und Ertragszeitreihen durch einen Meso-Mikro-Downscaling-Ansatz



Martin Schneider, Joachim Geyer, Markus Kilian, Heinz-Theo Mengelkamp