Wind- und Ertragspotential berechnen mit dem neuen anemos 1km Windatlas für Deutschland

33. Windenergietage in Potsdam

13. November 2025

Dr. Markus Kilian

anemos Gesellschaft für Umweltmeteorologie mbH
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 PPAs

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

Projektverbund

Fraunhofer IEE (Projektleitung)
anemos
Universität Kassel

Gefördert durch:

Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Laufzeit:

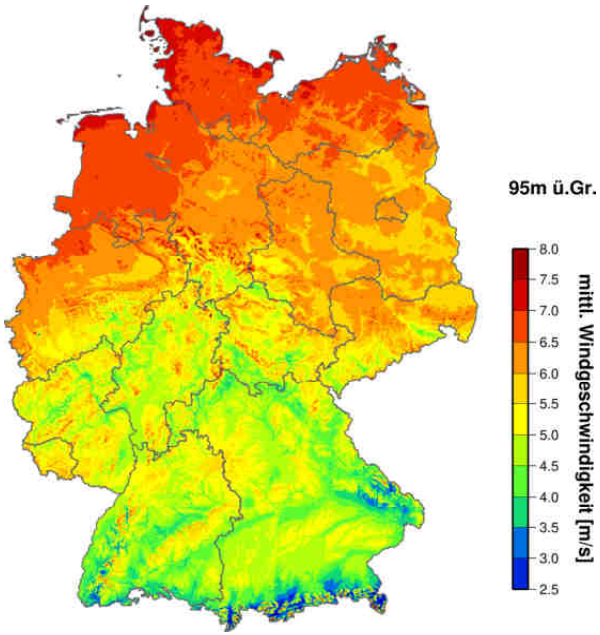
Jun. 2023 – Mai. 2026

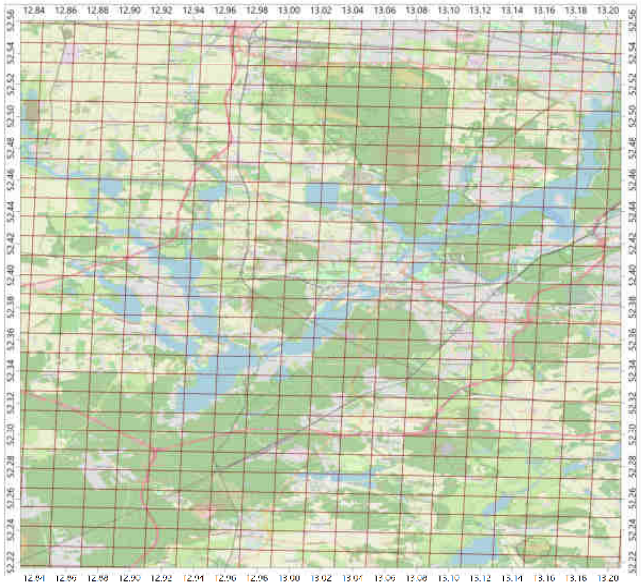
anemos Teilprojekt:

Qualitätssteigerung der Datengrundlage und Bestimmung standortspezifischer Leistungskennlinien für ein effizientes Gesamtframework

Der neue anemos Windatlas Deutschland 1km ERA5

- ✓ Akkreditierte Methode
- ✓ Über 25 Jahre & monatliche Updates
- ✓ Basierend auf dem state-of-the-art WRF-Modell
- ✓ Mit über 100 Messungen validiert
- ✓ Demnächst verfügbar über: awis.anemos.de

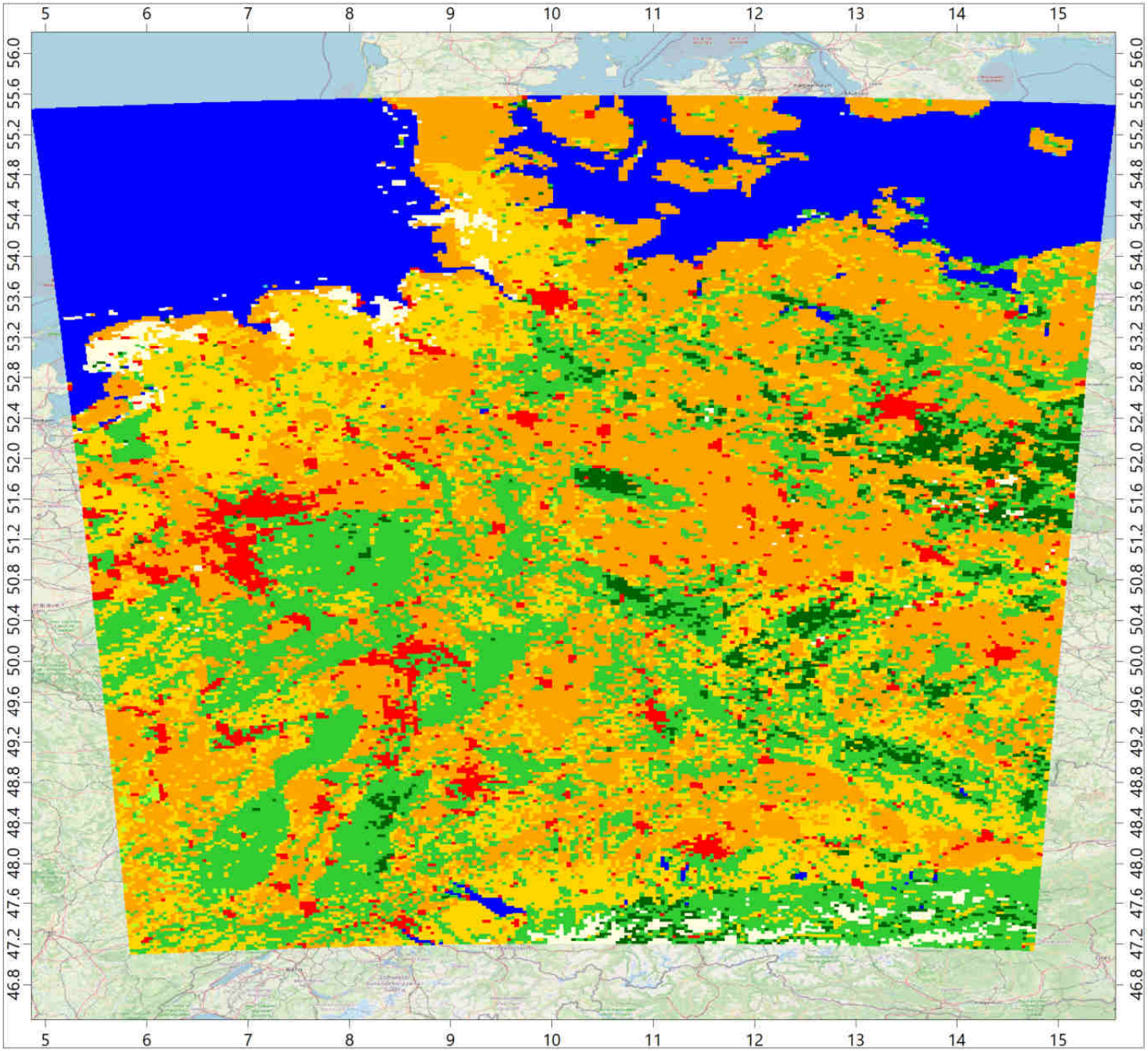




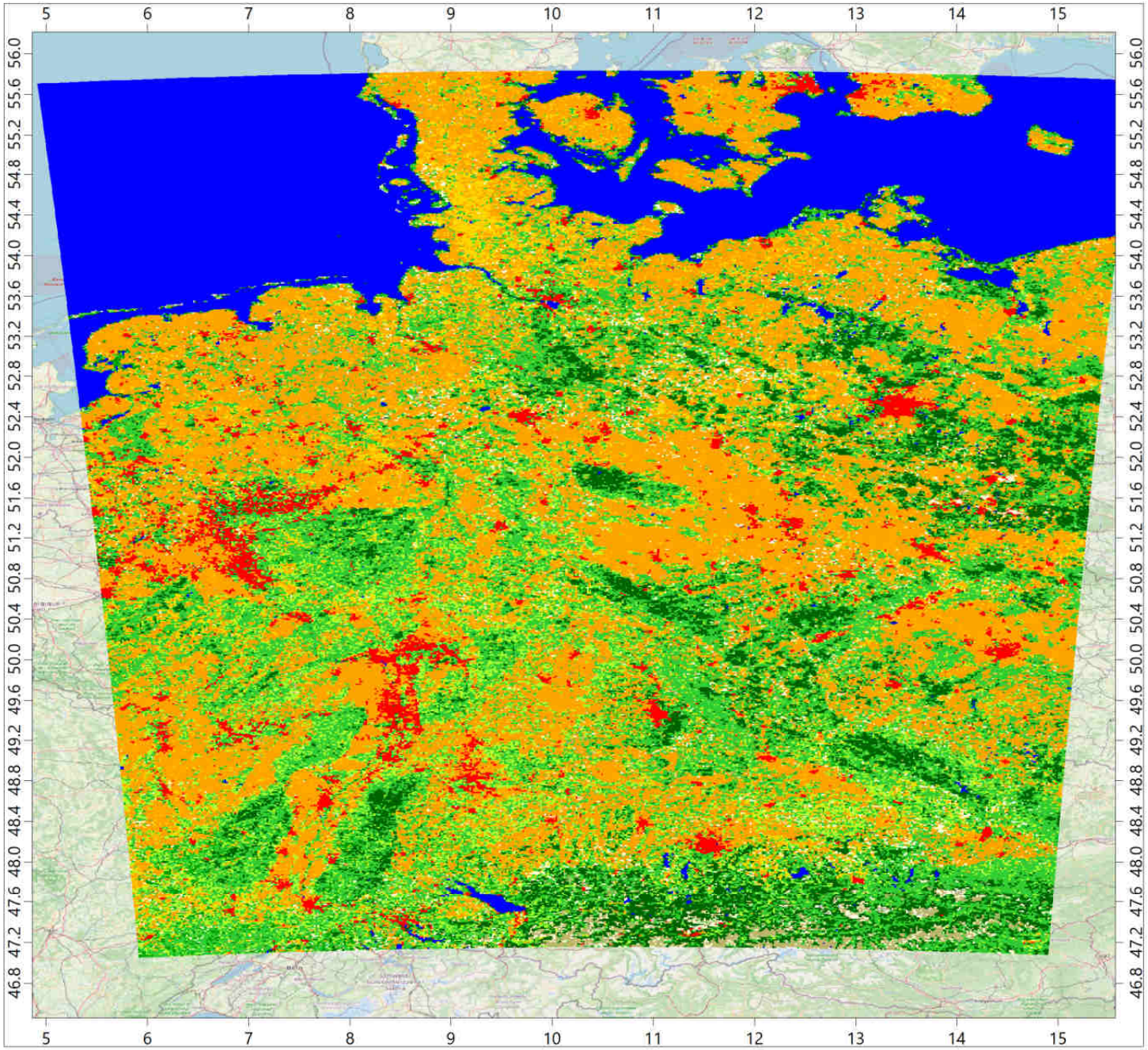
1km Gitter

Können wir mit einem 1km Windatlas wirklich besser werden als der 3km Windatlas?

D3E5

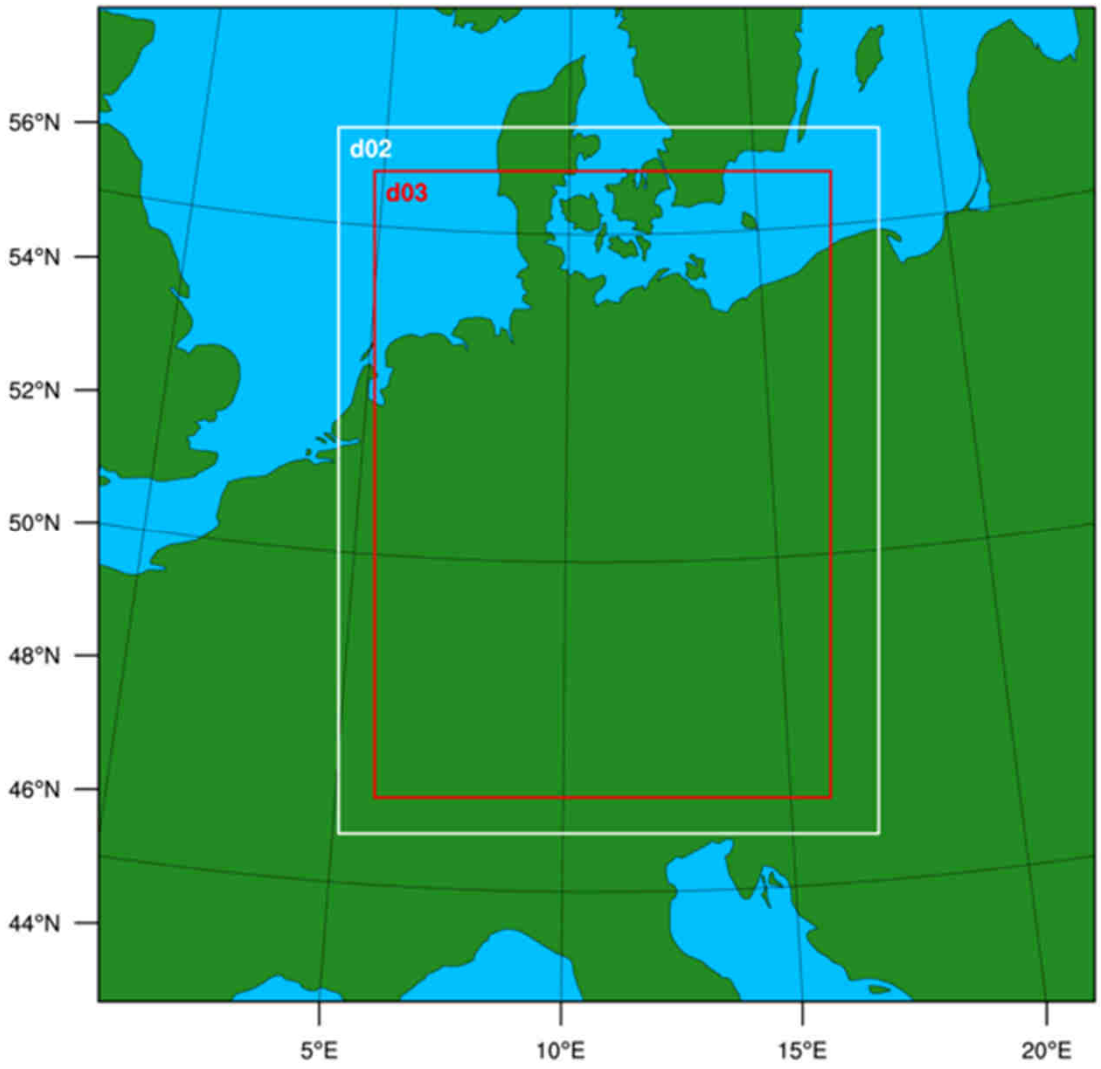

5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15
56.0 55.6 55.2 54.8 54.4 54.0 53.6 53.2 52.8 52.4 52.0 51.6 51.2 50.8 50.4 50.0 49.6 49.2 48.8 48.4 48.0 47.6 47.2 46.8

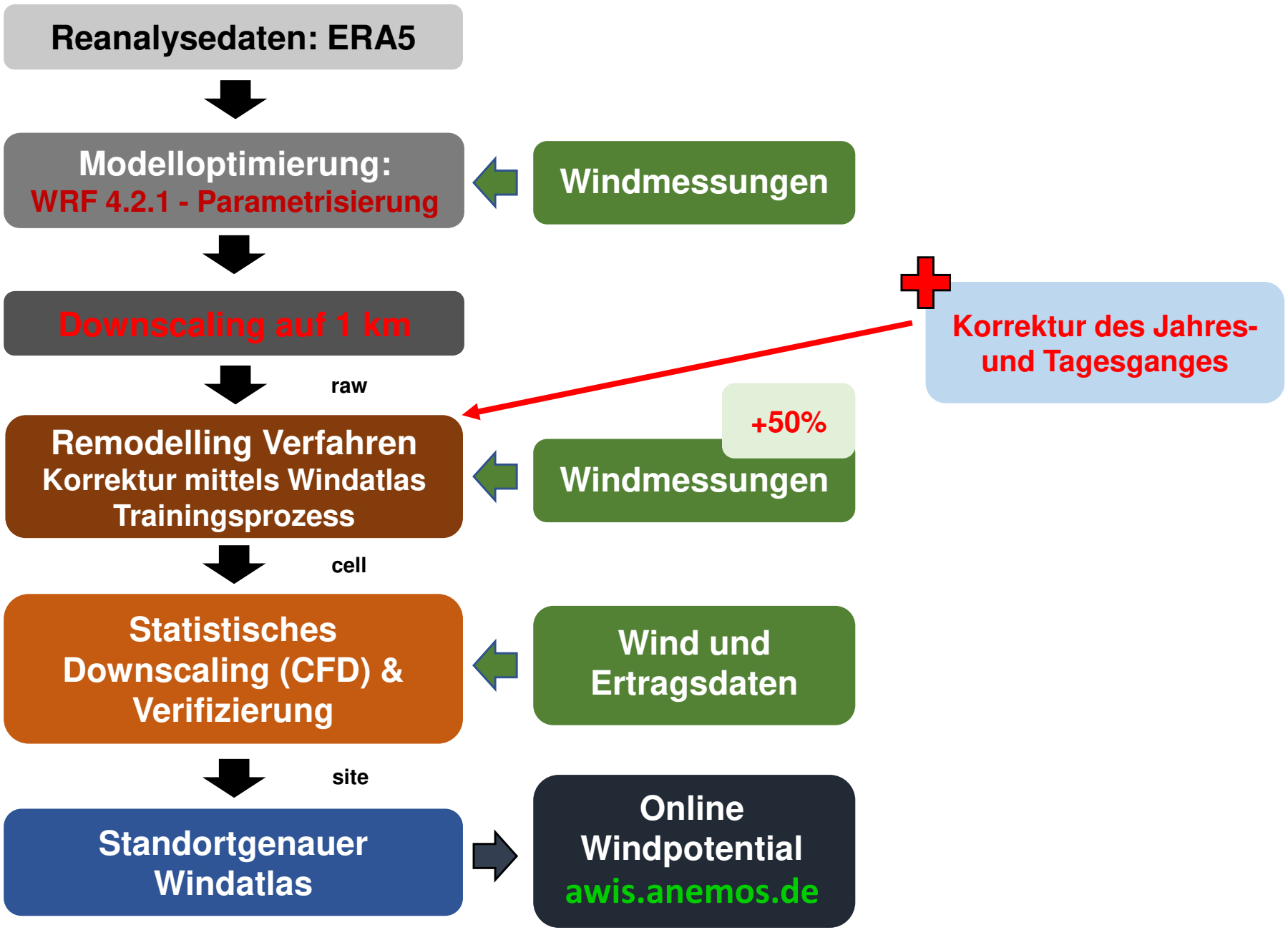
D1E5

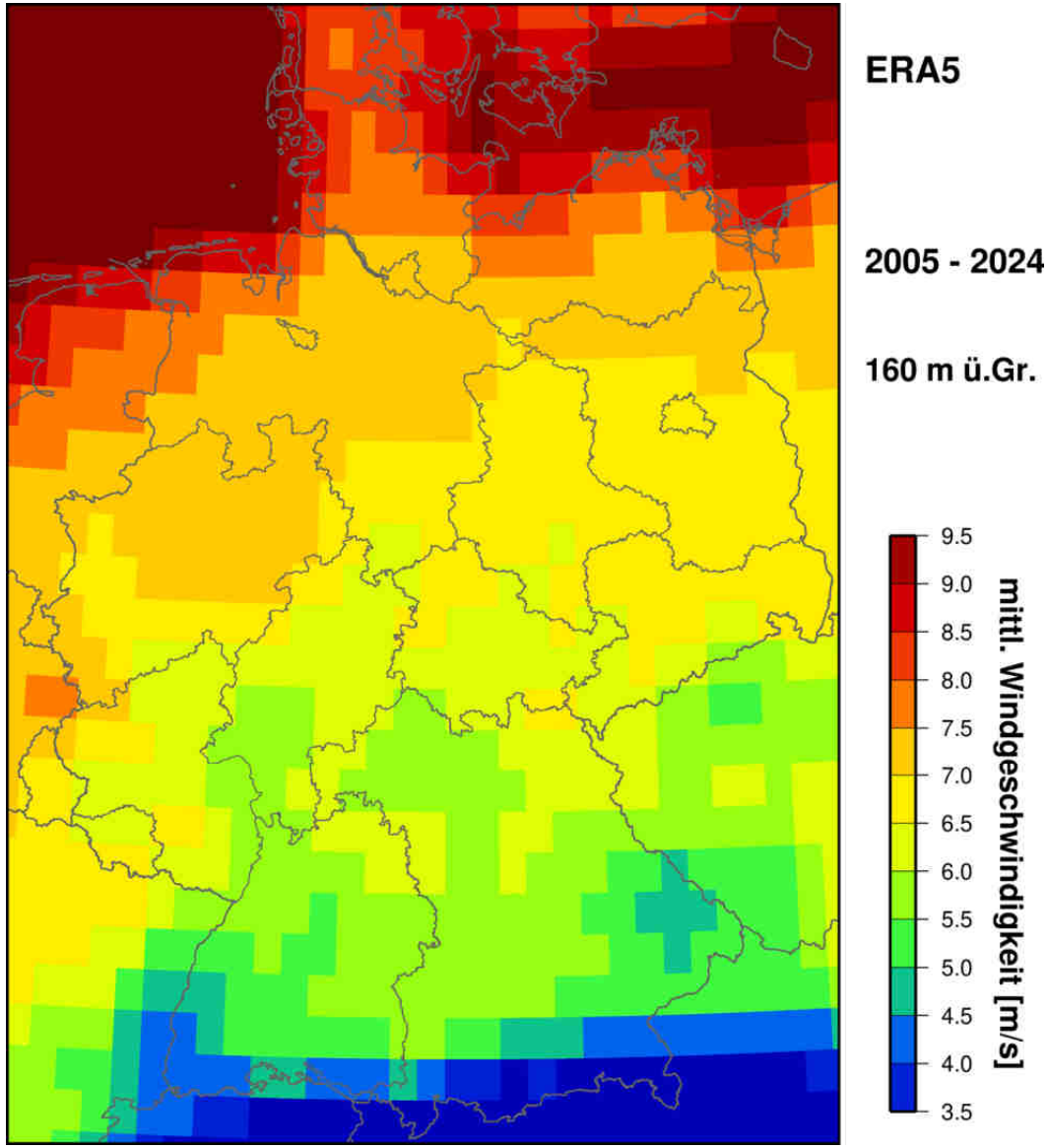

5 6 7 8 9 10 11 12 13 14 15
56.0 55.6 55.2 54.8 54.4 54.0 53.6 53.2 52.8 52.4 52.0 51.6 51.2 50.8 50.4 50.0 49.6 49.2 48.8 48.4 48.0 47.6 47.2 46.8

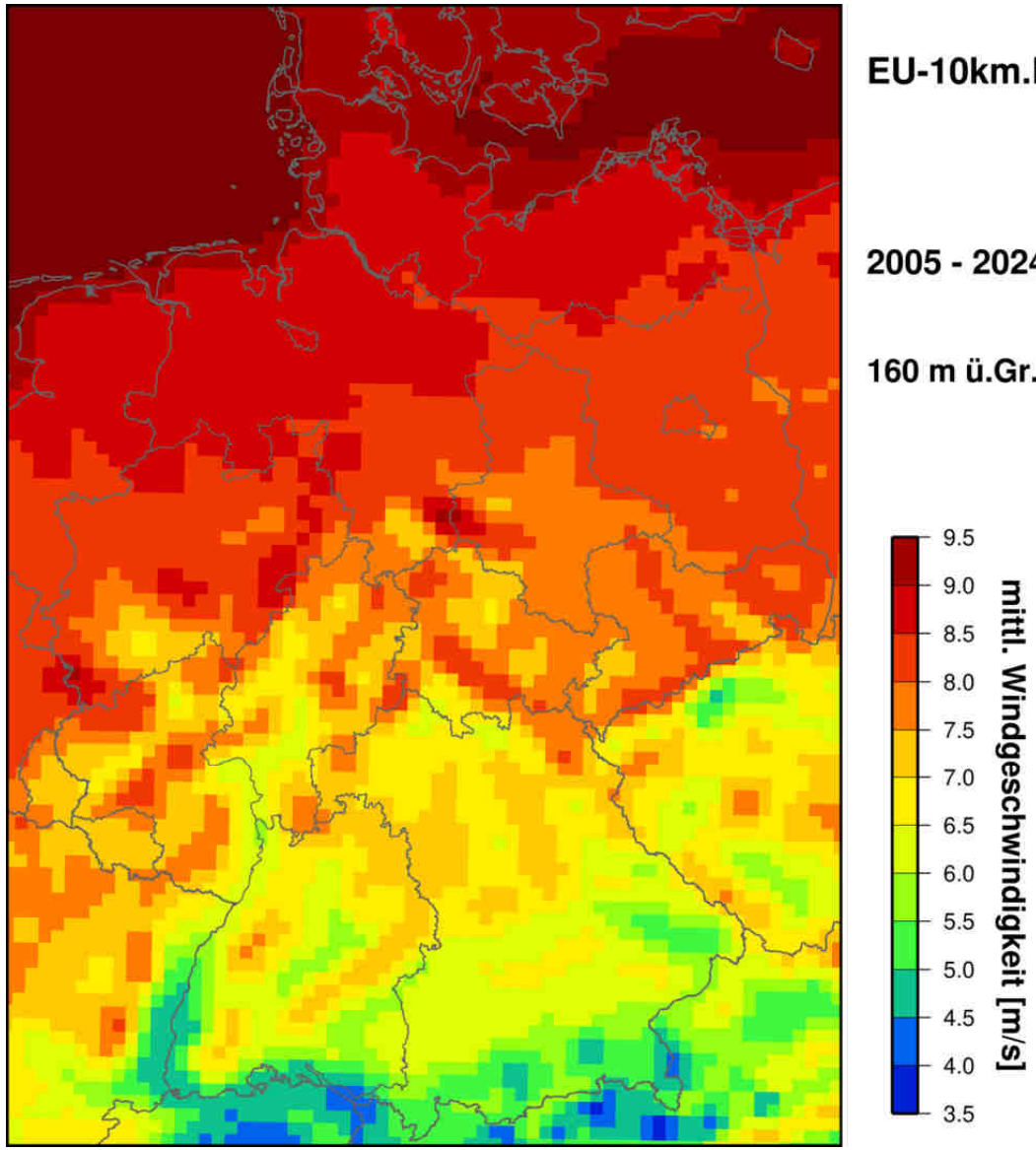
Model Setup mit 3 Nesting Leveln

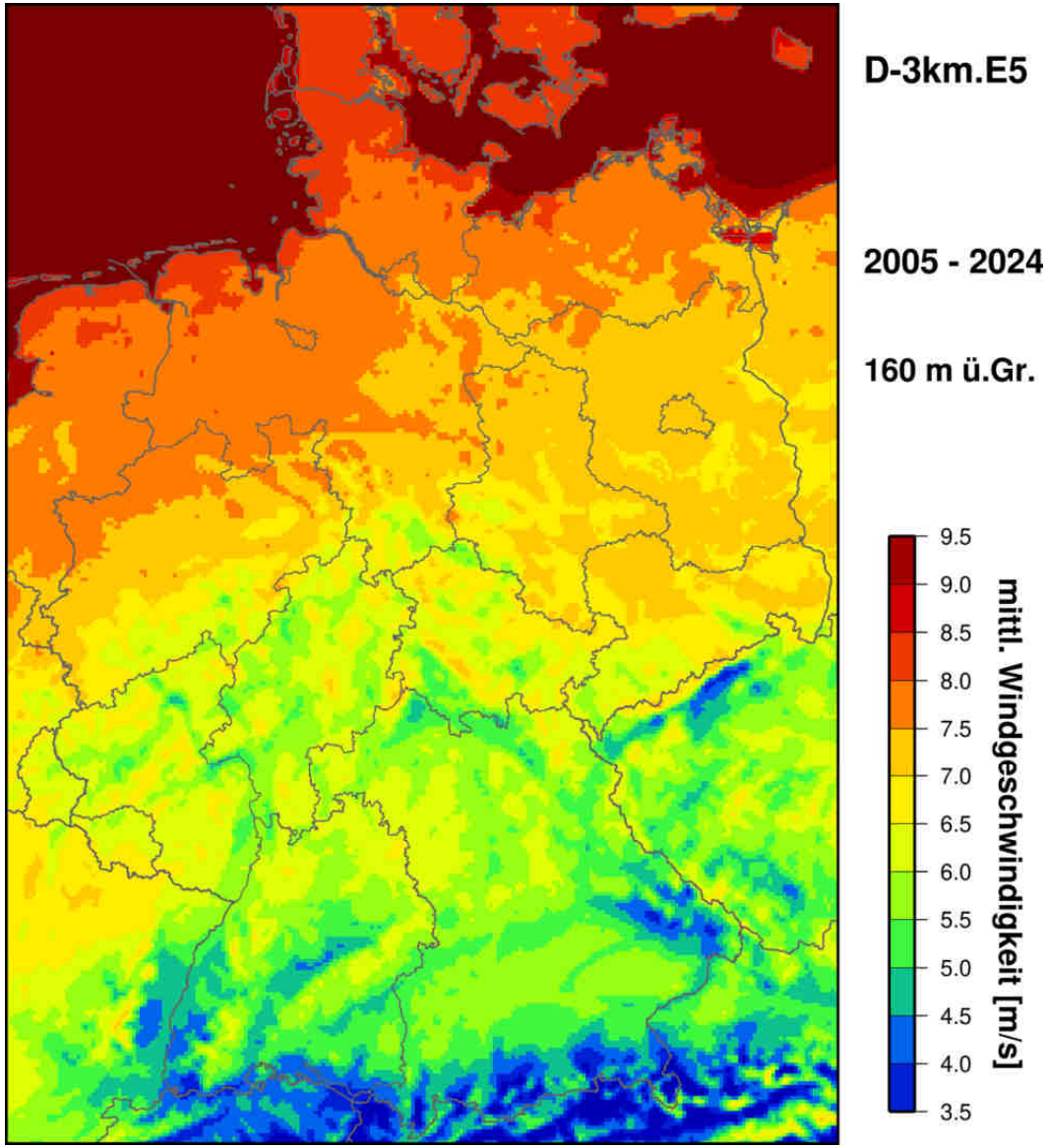
- WRF 4.2.1 als neue Version
- 1.35 km räumliche Auflösung in der Domain d03
- Simulation ab dem 01.01.1999 – heute
- 10 minütigen Zeitschritte
- MYNN Schemata zur Turbulenzauflösung

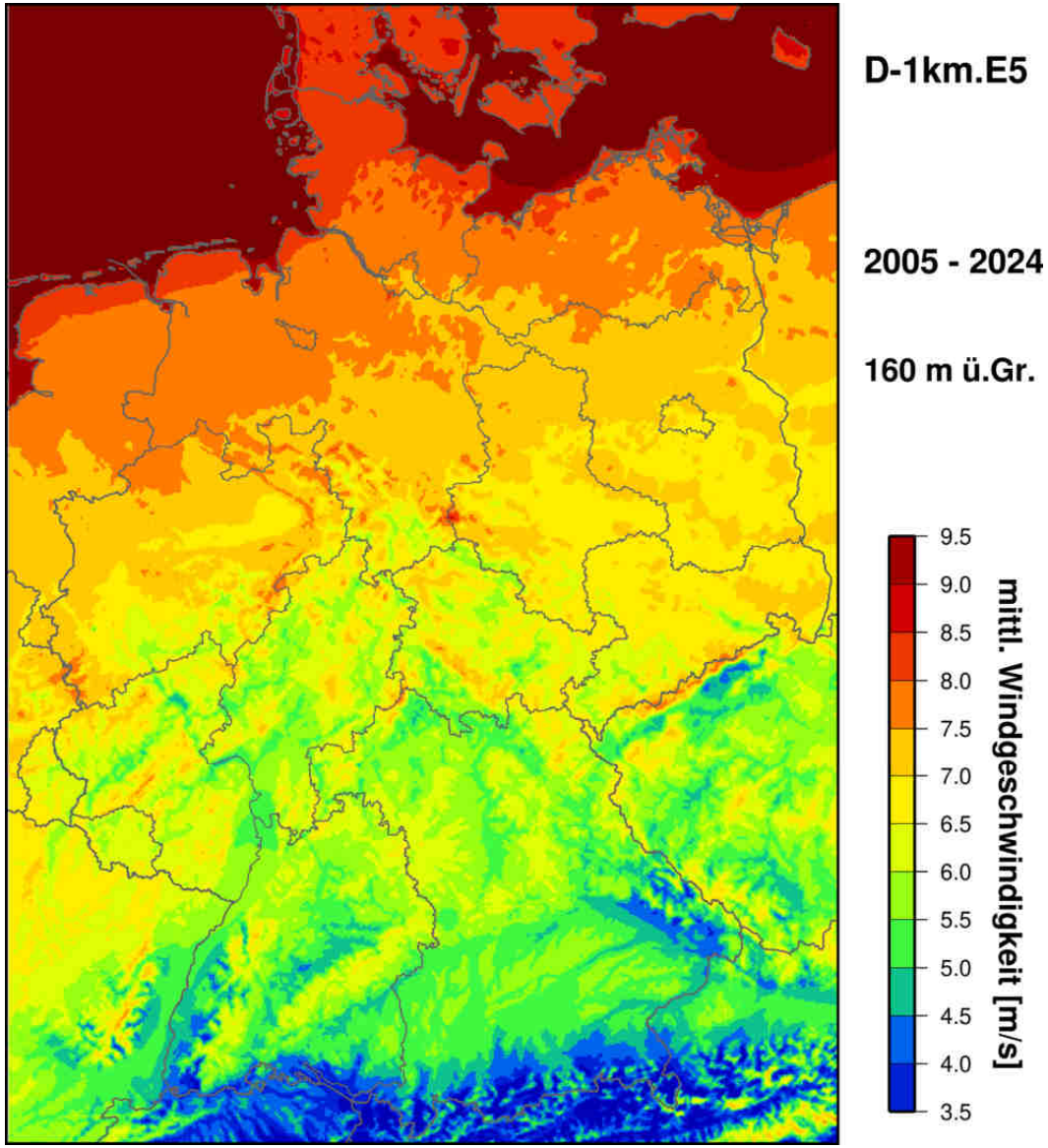


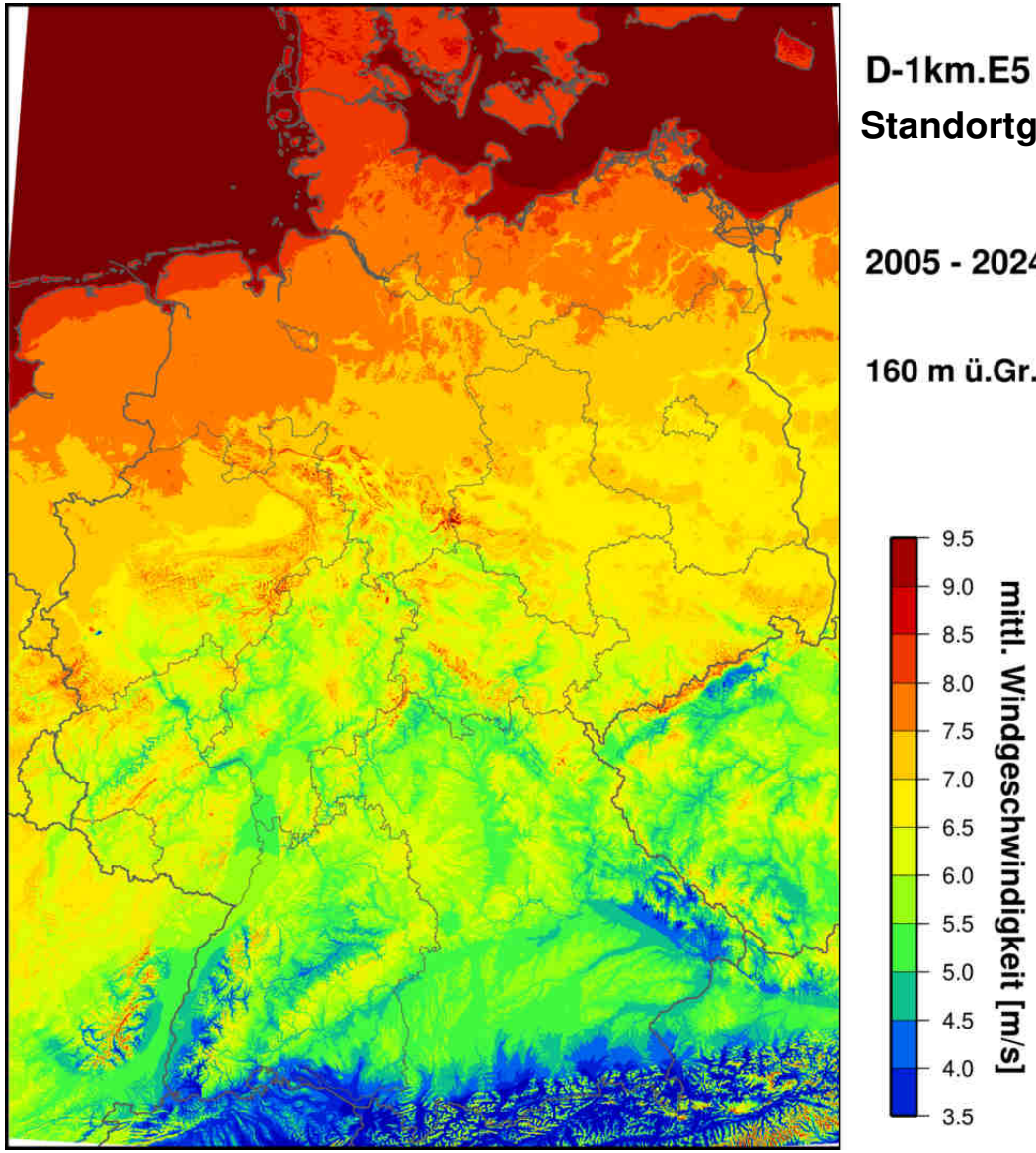

Reanalysedaten: ERA5
Modelloptimierung:
WRF 4.2.1 - Parametrisierung
Windmessungen
Downscaling auf 1 km
raw
Korrektur des Jahres- und Tagesganges
+50%
Remodelling Verfahren
Korrektur mittels Windatlas
Trainingsprozess
Windmessungen
cell
Statistisches Downscaling (CFD) & Verifizierung
Wind und Ertragsdaten
site
Standortgenauer Windatlas
Online Windpotential
awis.anemos.de


ERA5
2005 - 2024
160 m ü.Gr.
9.5
9.0
8.5
8.0
7.5
7.0
6.5
6.0
5.5
5.0
4.5
4.0
3.5
mittl. Windgeschwindigkeit [m/s]


EU-10km.E5
2005 - 2024
160 m ü.Gr.
9.5
9.0
8.5
8.0
7.5
7.0
6.5
6.0
5.5
5.0
4.5
4.0
3.5
mittl. Windgeschwindigkeit [m/s]


D-3km.E5
2005 - 2024
160 m ü.Gr.
9.5
9.0
8.5
8.0
7.5
7.0
6.5
6.0
5.5
5.0
4.5
4.0
3.5
mittl. Windgeschwindigkeit [m/s]


D-1km.E5
2005 - 2024
160 m ü.Gr.
9.5
9.0
8.5
8.0
7.5
7.0
6.5
6.0
5.5
5.0
4.5
4.0
3.5
mittl. Windgeschwindigkeit [m/s]



D-1km.E5

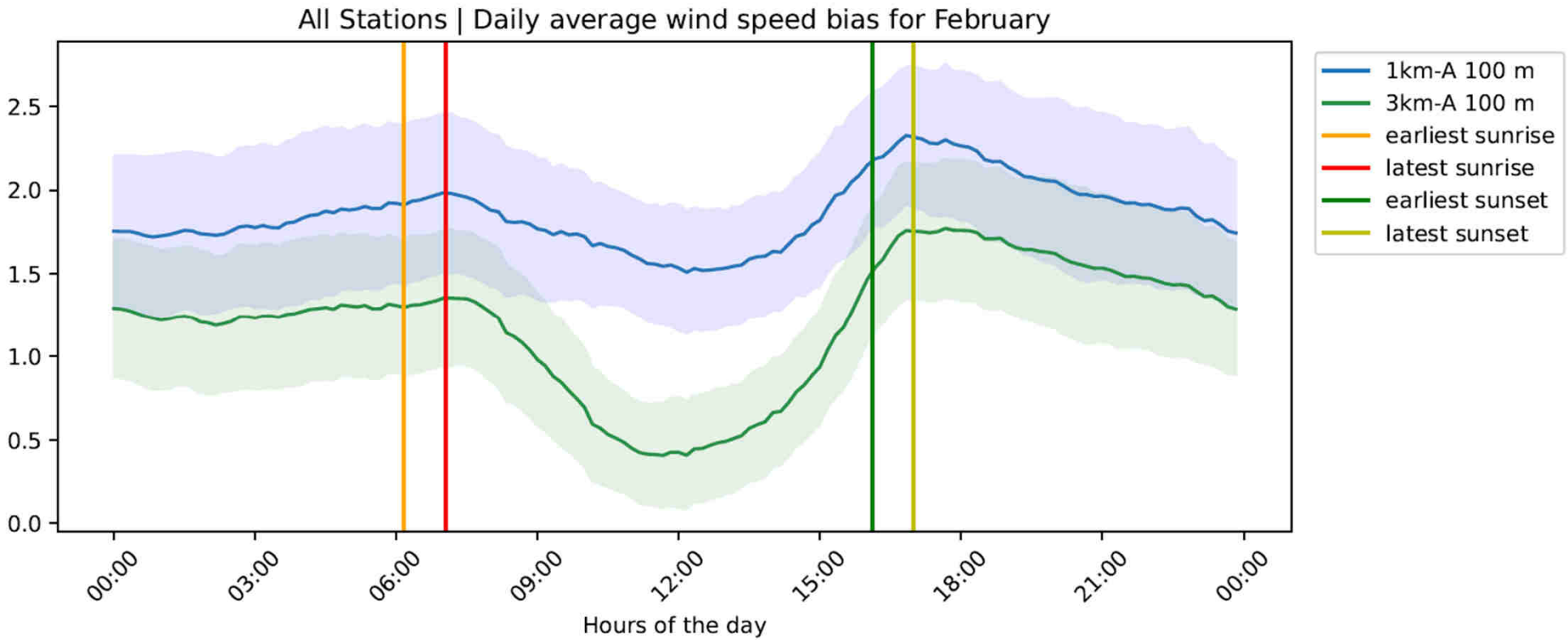
Standortgenau

2005 - 2024

160 m ü.Gr.

Korrektur des Tages- und Jahresganges

Die Rohdaten zeigen einen systematischen Fehler im Jahres- und Tagesgang

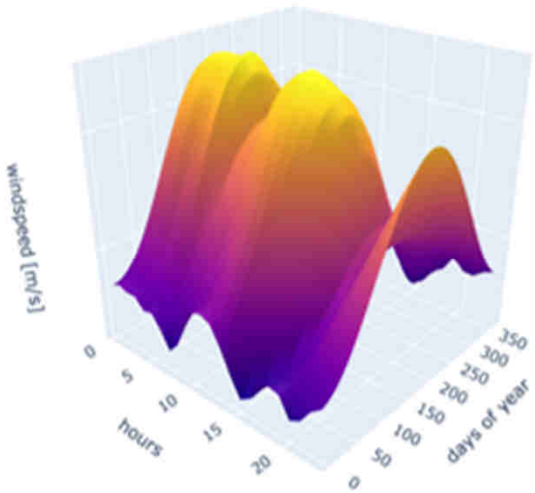


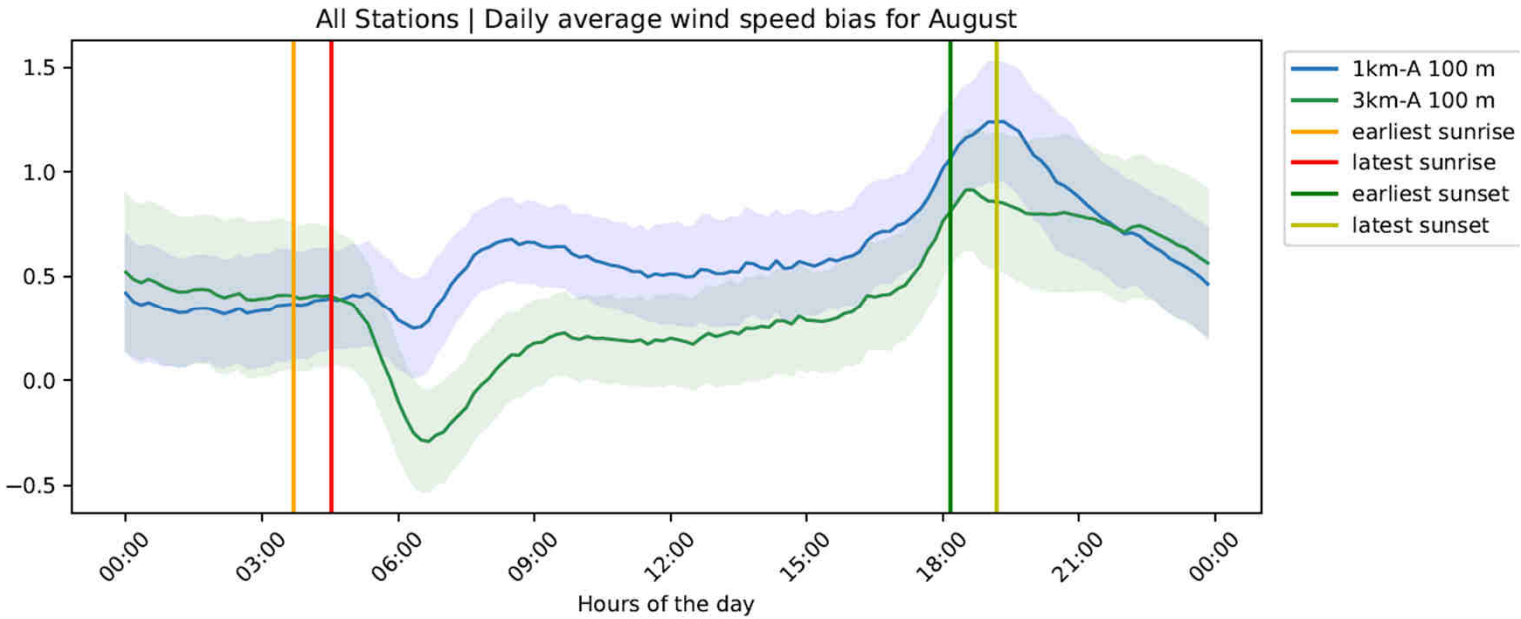
Korrektur des Tages- und Jahresganges

Die Rohdaten zeigen einen systematischen Fehler im Jahres- und Tagesgang

Die Korrektur des Jahres- und Tagesgangfehlers ist wichtig für:

- saisonale, zeitreihenabhängige Verluste (z.B. Schall, Fledermäuse, etc.)
- Langzeitbezug mit Kurzzeitmessungen
- Erlös- oder Marktwertberechnungen



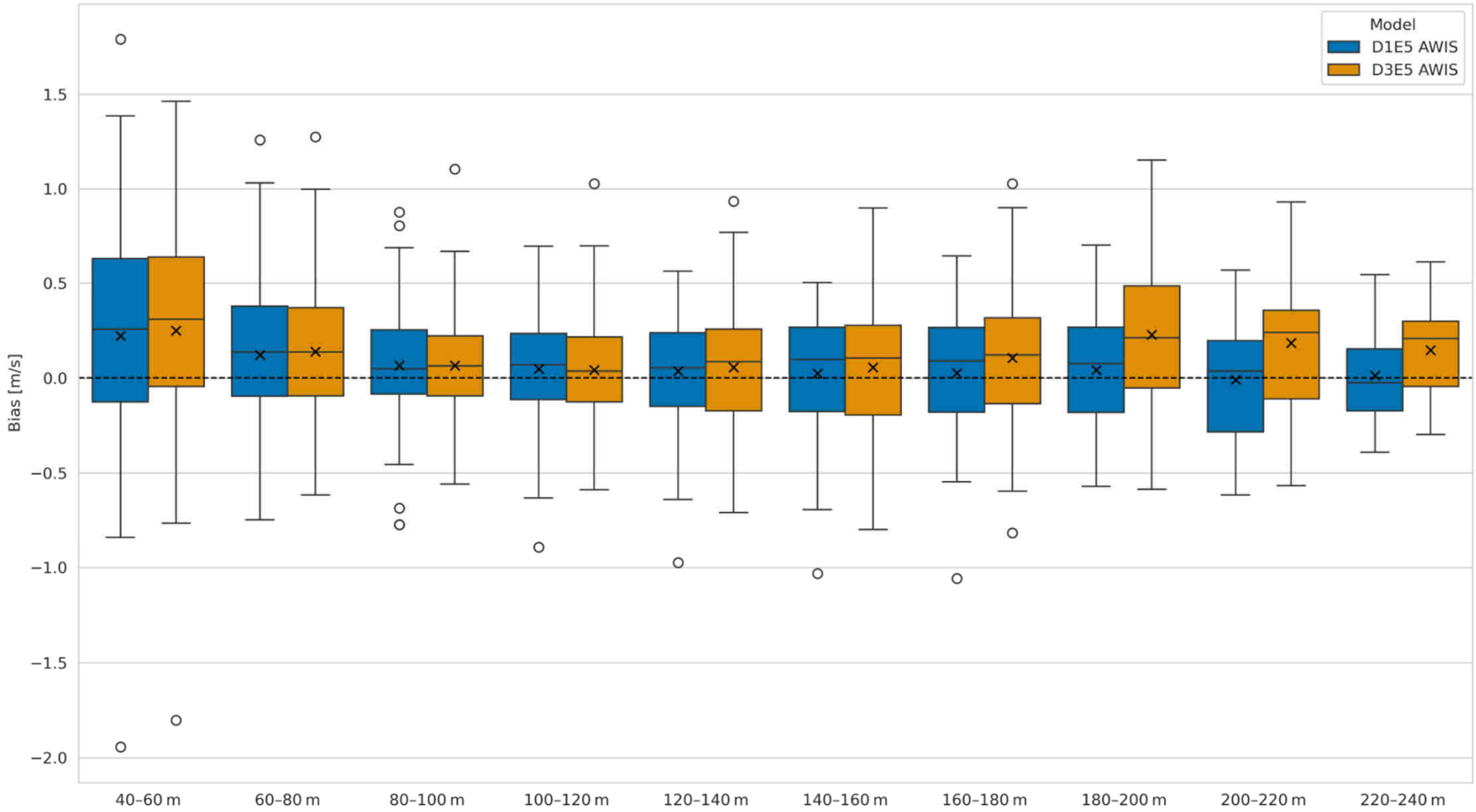


Windatlas Verifikation

- Bias
- Korrelation
- RMSE
- Bias Weibull k

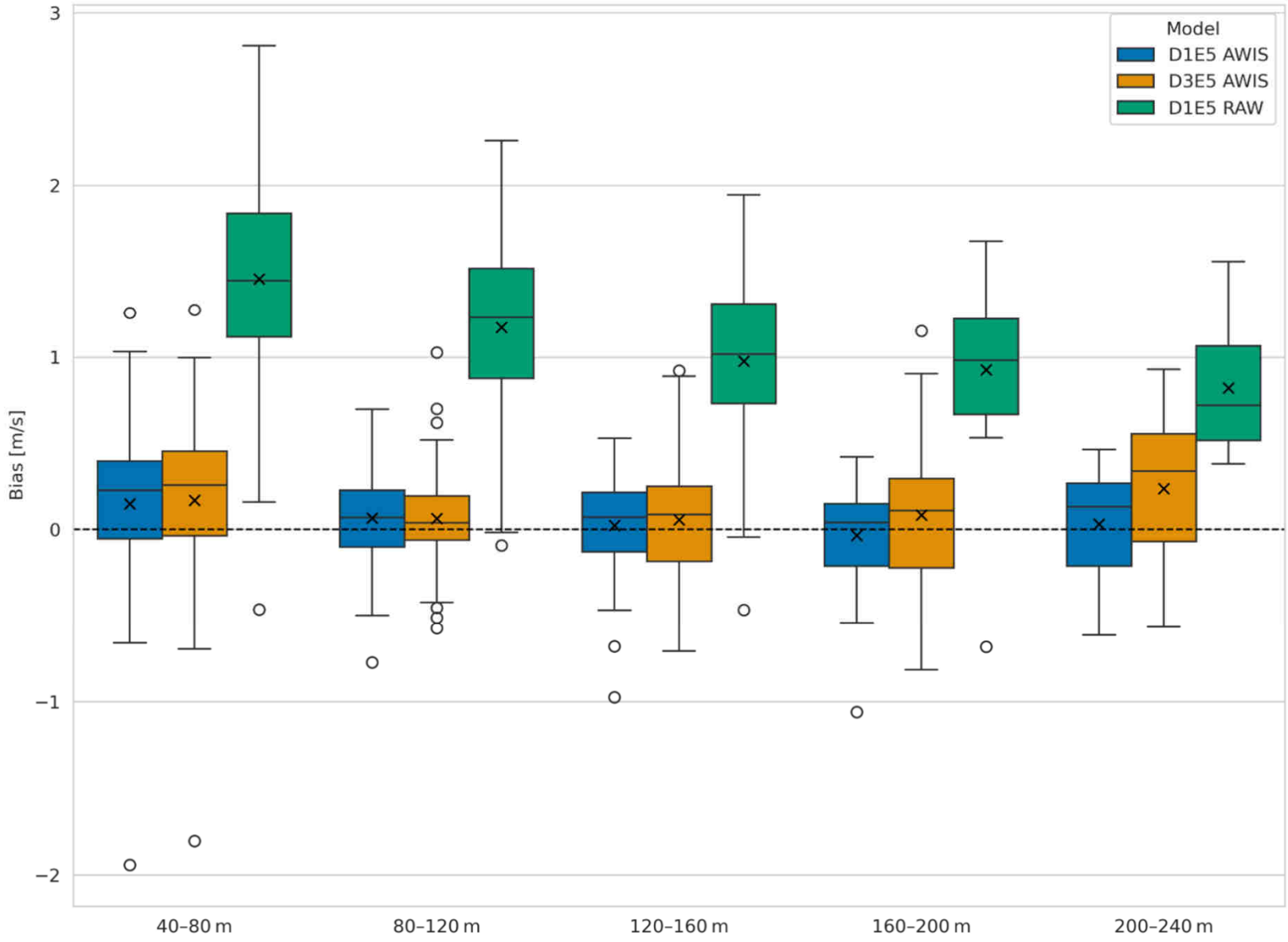
Vergleich des Bias zwischen dem D3E5 und dem neuen D1E5 Windatlas

(10-min-Werte, 7 - 94 Stationen)



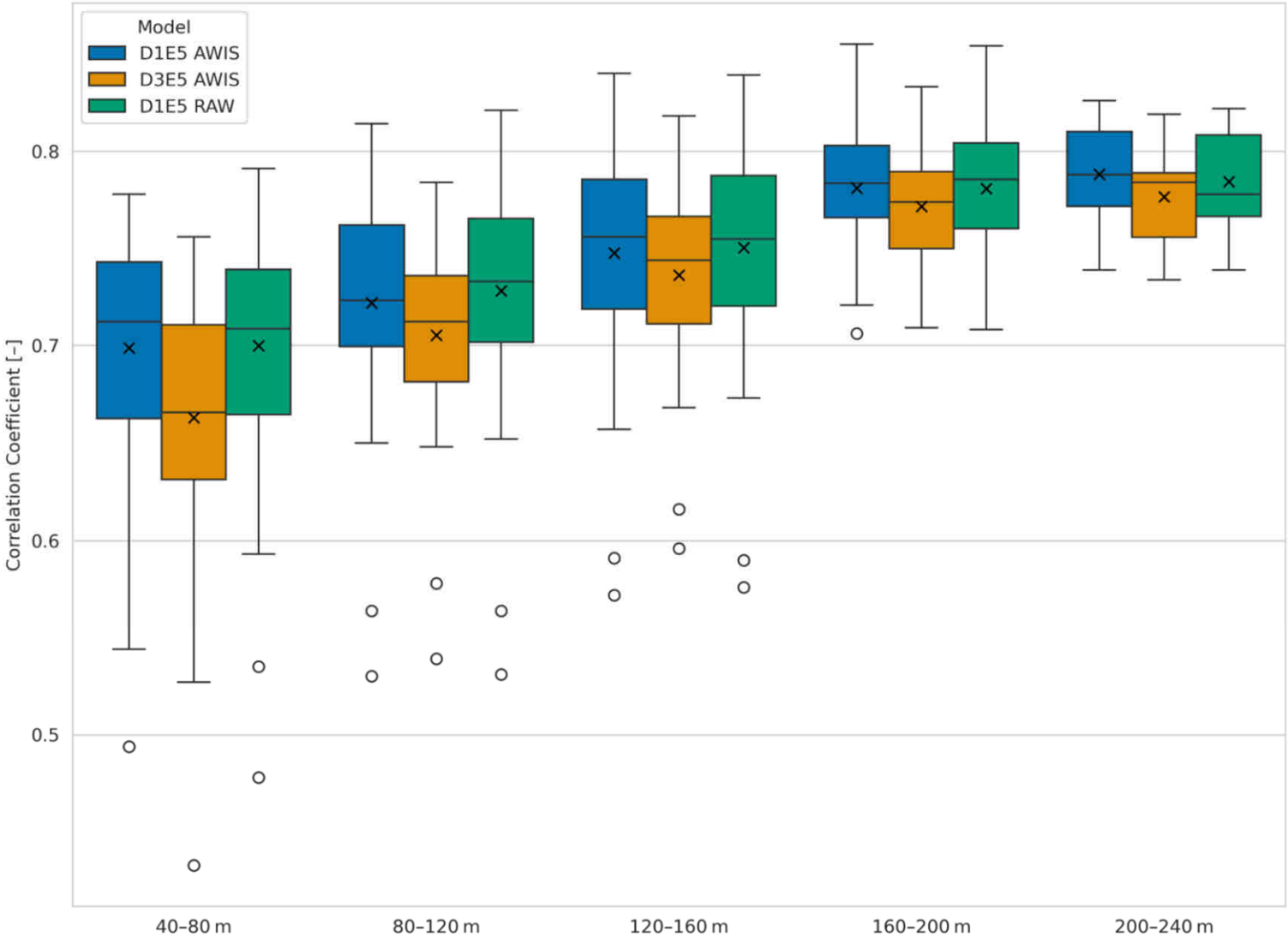
Vergleich des Bias zwischen dem D3E5 und dem neuen D1E5 Windatlas

(10-min-Werte, 10 - 58 Stationen [ohne Training])



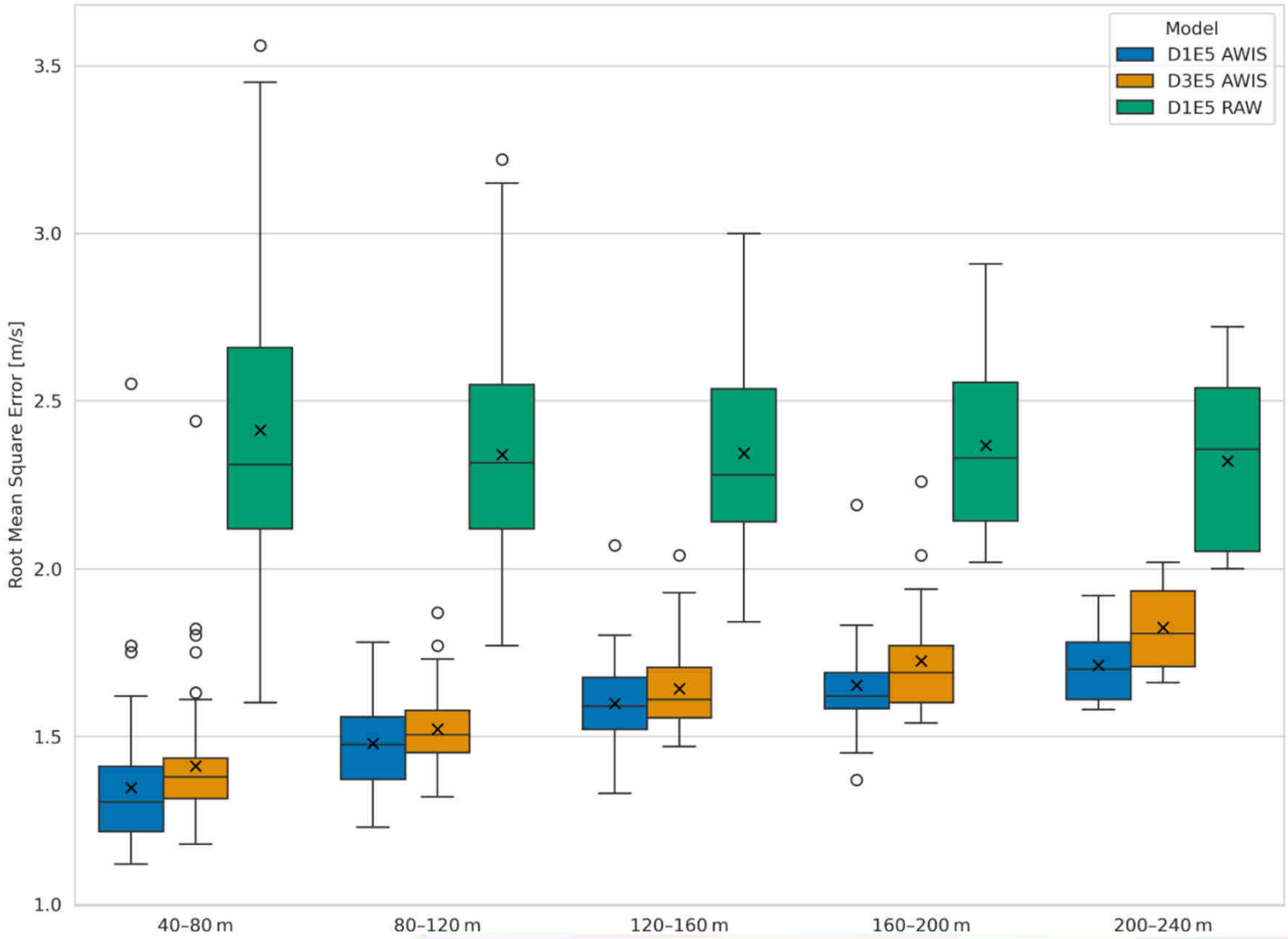
Vergleich der Korrelation zwischen dem D3E5 und dem neuen D1E5 Windatlas

(10-min-Werte, 10 - 58 Stationen [ohne Training])

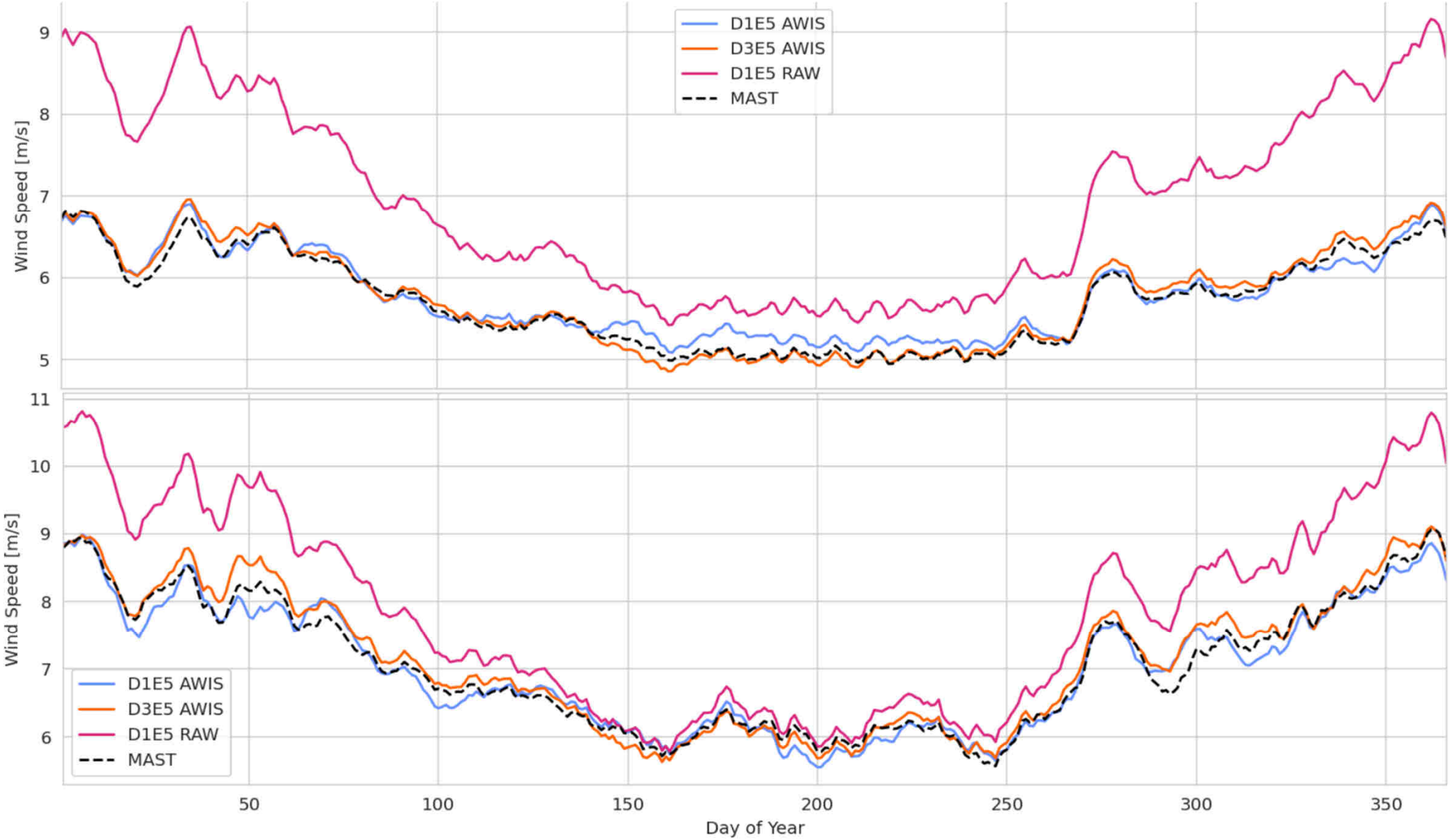


Vergleich der Korrelation zwischen dem D3E5 und dem neuen D1E5 Windatlas

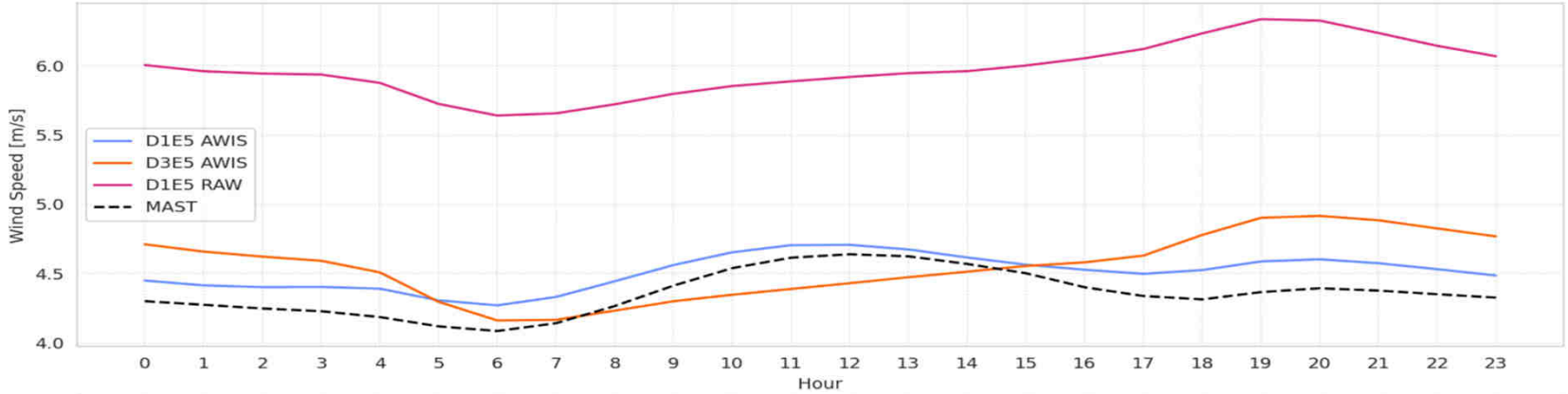
(10-min-Werte, 10 - 58 Stationen [ohne Training])



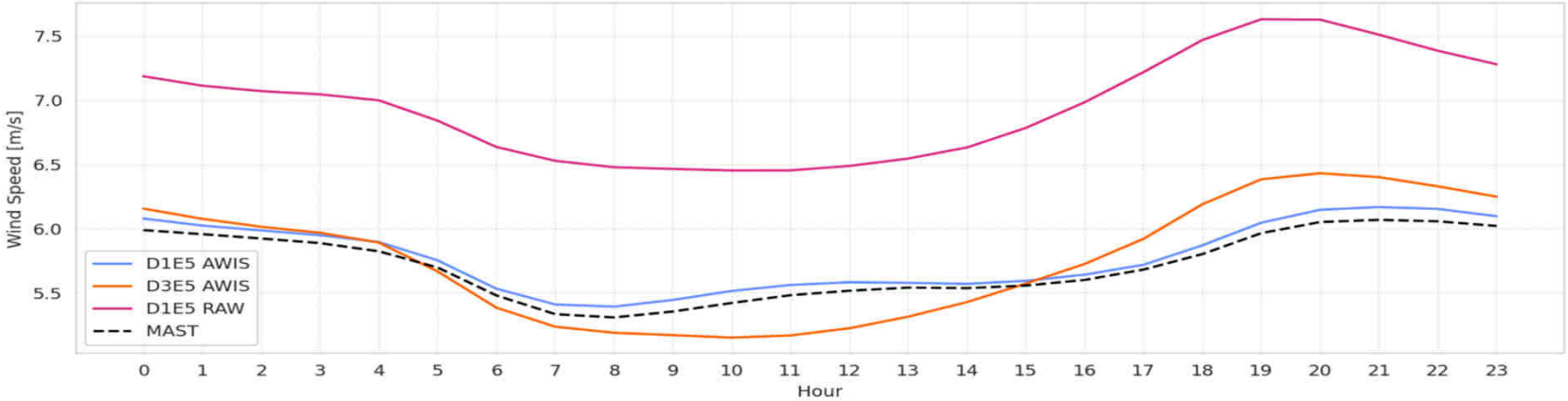
Vergleich des Jahresganges zwischen dem D3E5 und dem neuen D1E5 Windatlas
(58 Stationen, 100 m Höhe bzw. 19 Stationen, 180 m Höhe)



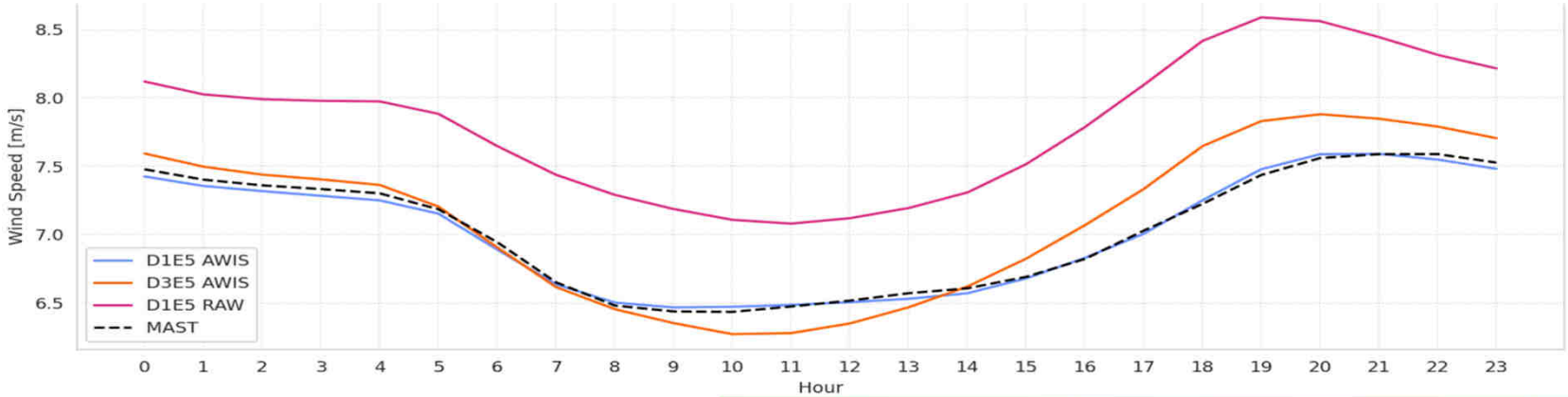
Vergleich des Tagesganges zwischen dem D3E5 und dem neuen D1E5 Windatlas (50m, 100m u. 180m)



50 m



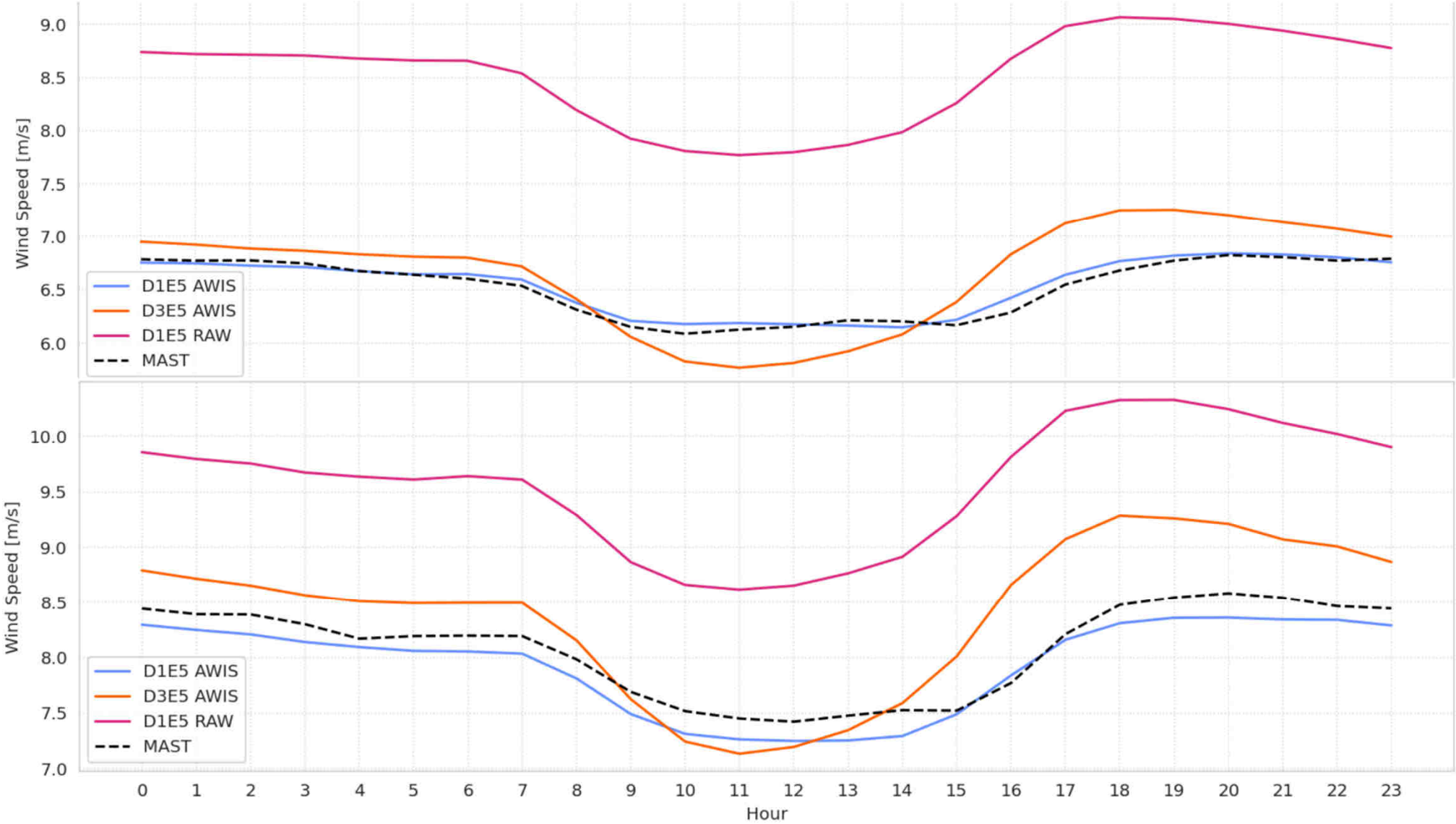
100 m



180 m

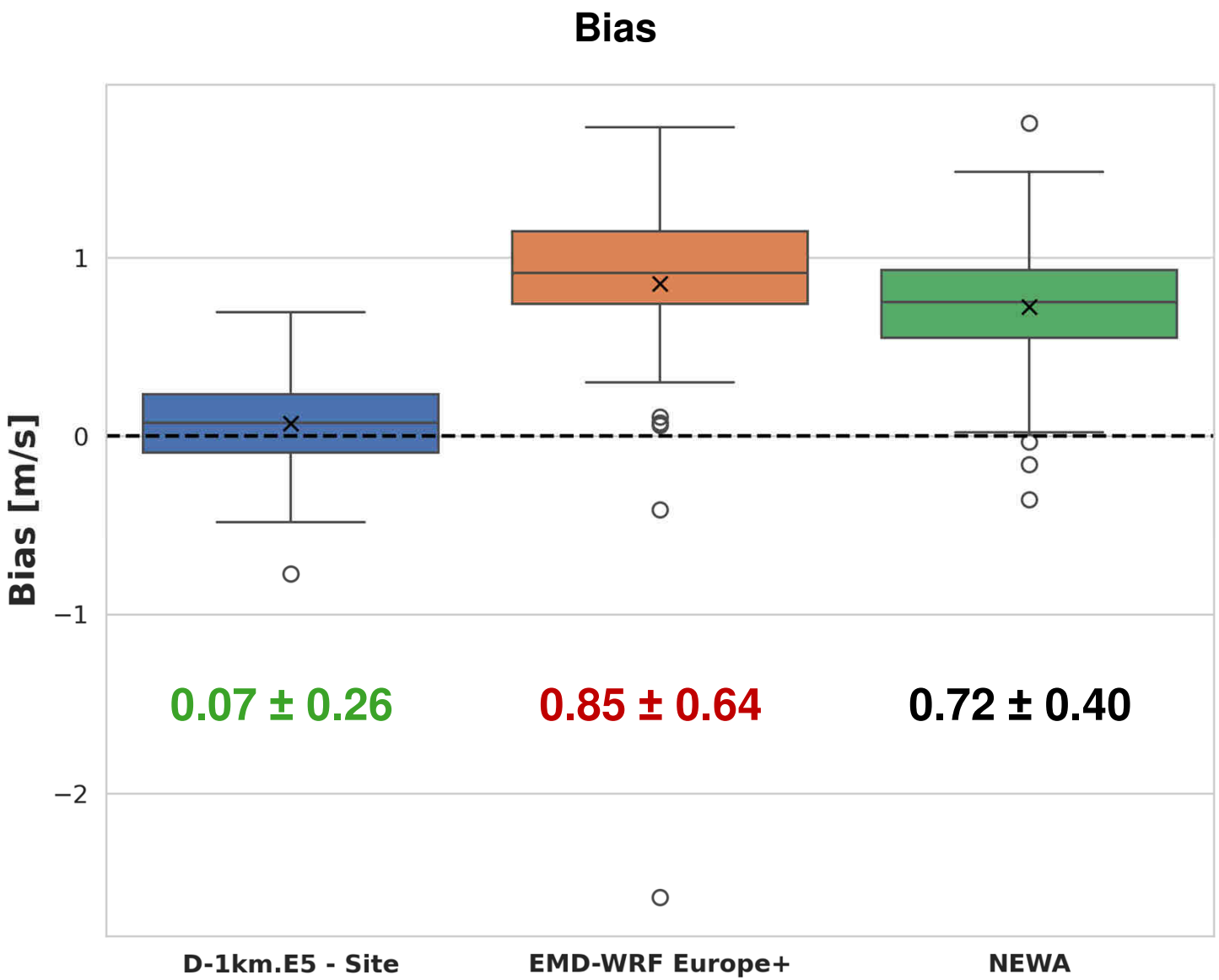
Vergleich des Tagesganges zwischen dem D3E5 und dem neuen D1E5 Windatlas (100 m u. 180 m Höhe)

Mittlerer Tagesgang für den Monat Februar



Vergleich des D1E5 mit EMD-WRF Europe+ und NEWA

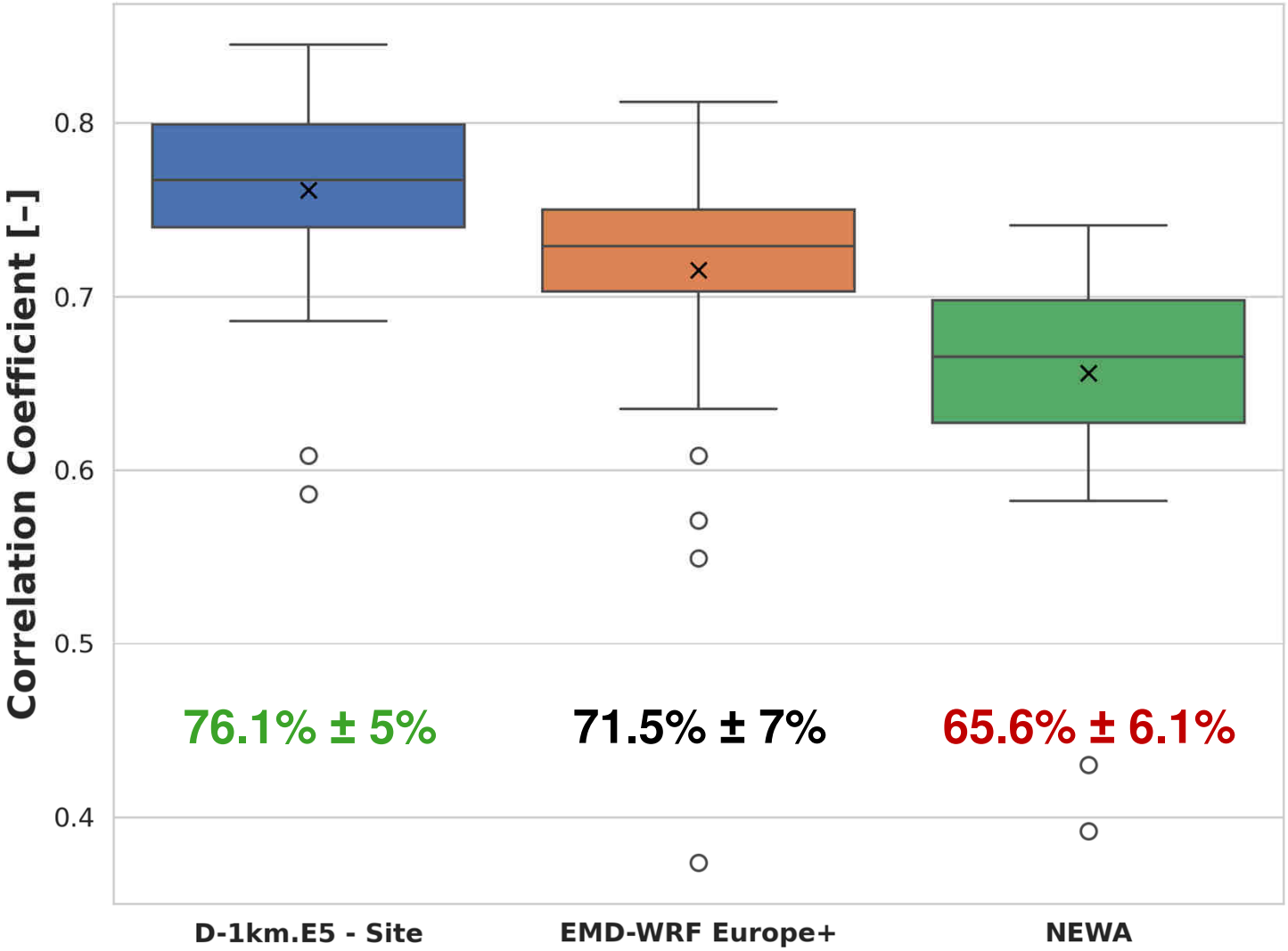
(57 Stationen, 100 m Höhe, 1h)



Vergleich des D1E5 mit EMD-WRF Europe+ und NEWA

(57 Stationen, 100 m Höhe, 1h)

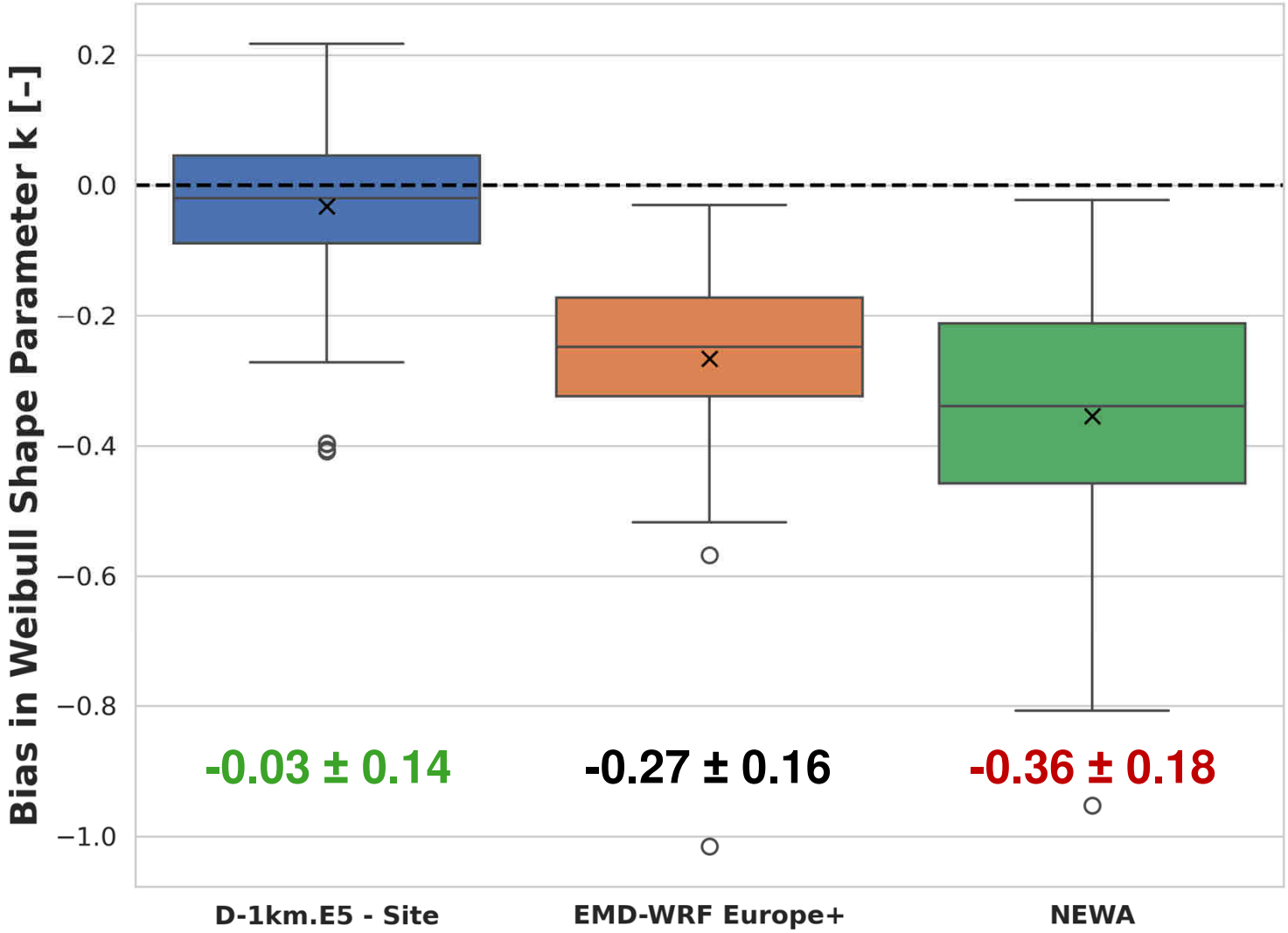
Korrelation



Vergleich des D1E5 mit EMD-WRF Europe+ und NEWA

(57 Stationen, 100 m Höhe, 1h)

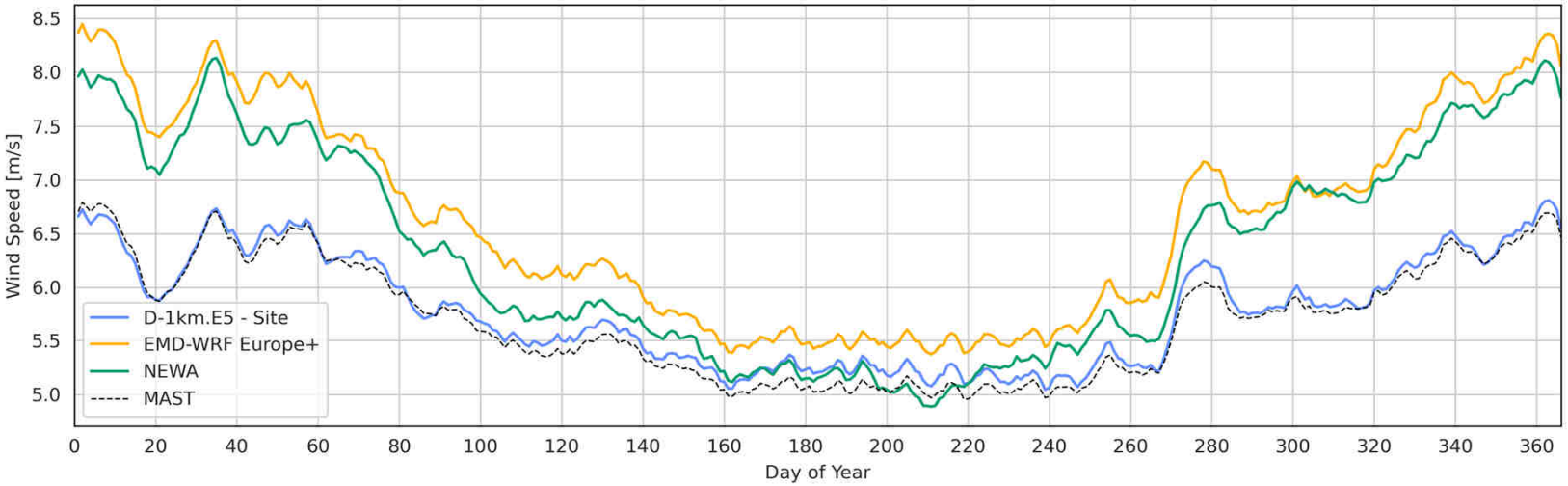
Bias Weibull k

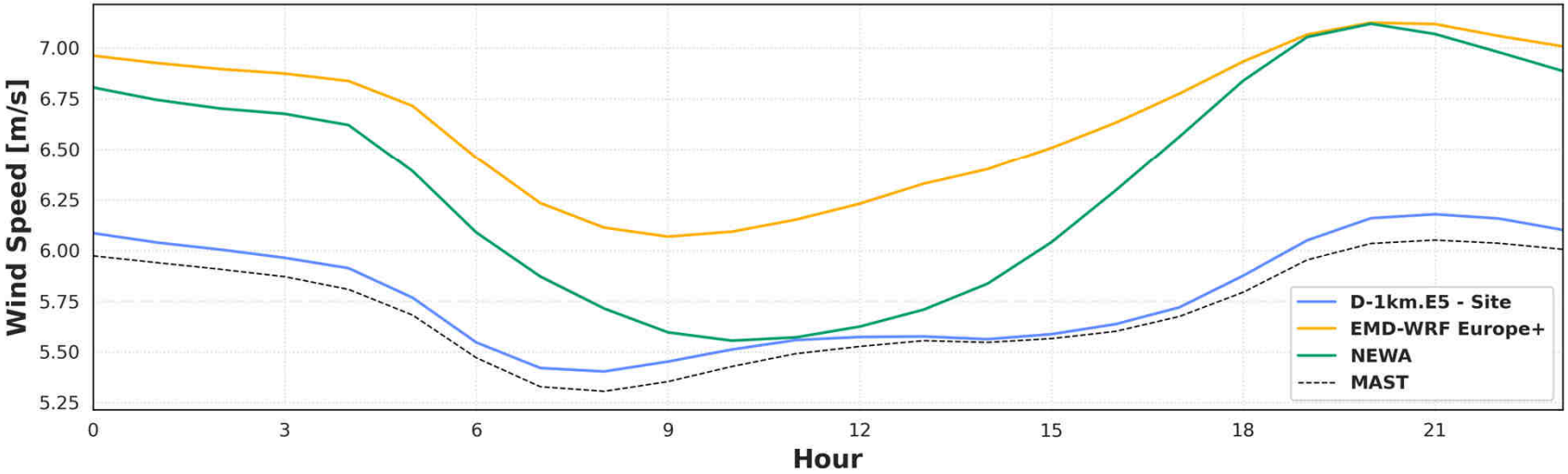


Vergleich des D1E5 mit EMD-WRF Europe+ und NEWA

(57 Stationen, 100 m Höhe, 1h)

Tages- und Jahresgang



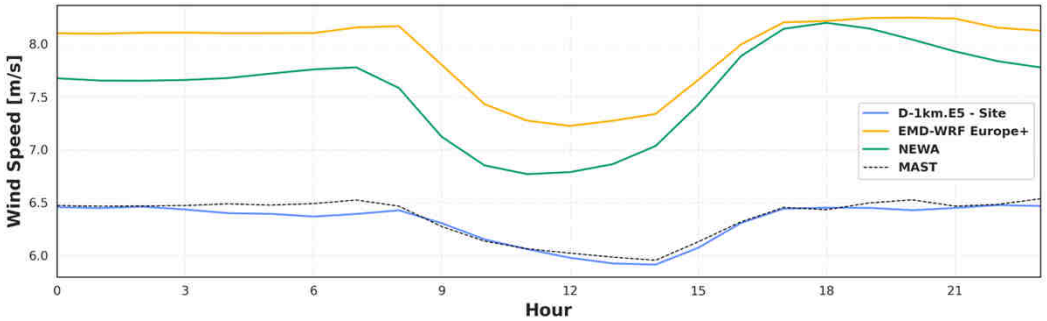


Vergleich des D1E5 mit EMD-WRF Europe+ und NEWA

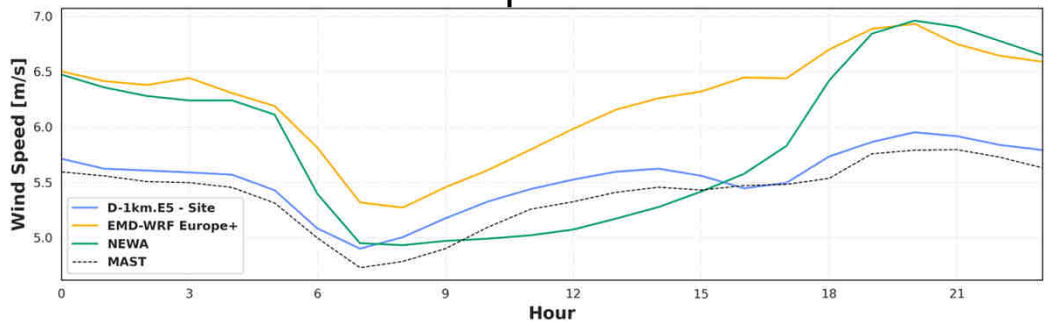
(57 Stationen, 100 m Höhe, 1h)

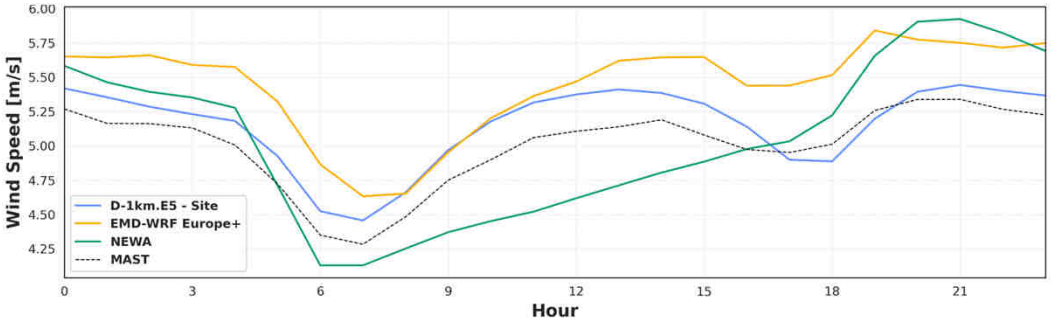
Tagesgang

Januar

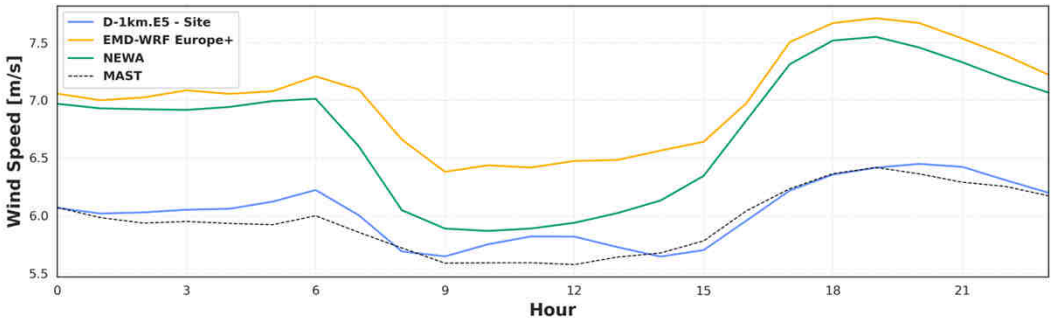


April





Juli



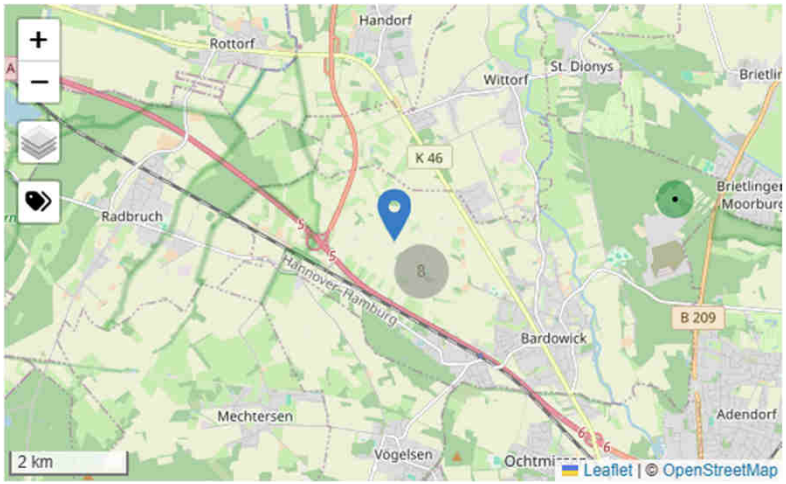
Oktober

Windpotenzial Deutschland 1km ERA5

Beispiel einer Berechnung bei Lüneburg

Statistik für 53.307478x10.350462

Standortliste:	Bardowick real
Koordinaten (Breite, Länge):	53.307478, 10.350462
Koordinaten UTM (Ostwert, Nordwert, Zone):	589982, 5907326, 32
Höhe ü. G.:	125 m
Höhe über NN (EUdem 25m):	7.5 m
Referenzperiode:	2005 - 2024

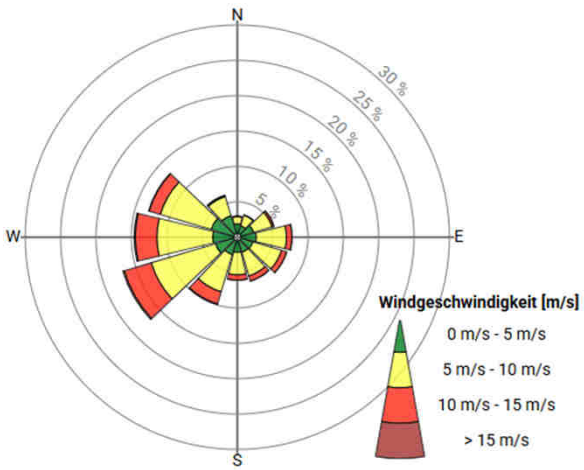


Sektor	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	Total
A [m/s]	4.94	5.81	6.31	7.12	7.29	7.24	7.30	8.19	8.93	8.58	7.72	5.77	7.63
k [-]	1.97	2.37	2.40	2.48	2.64	2.48	2.38	2.69	2.95	2.70	2.62	2.22	2.44
U [m/s]	4.38	5.15	5.59	6.32	6.48	6.43	6.47	7.28	7.97	7.63	6.85	5.11	6.76
P [W/m²]	100	137	174	244	253	258	272	355	440	407	301	141	305
Freq [%]	2.98	3.31	5.40	7.74	7.29	6.47	6.10	9.94	16.90	14.61	13.10	6.17	100.00

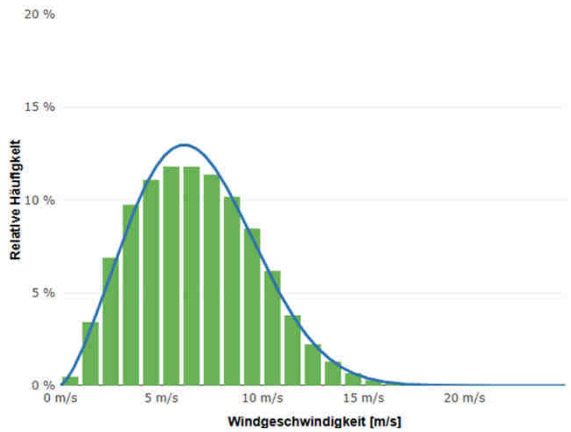
Windpotenzial Deutschland 1km ERA5

Beispiel einer Berechnung bei Lüneburg

Windrose



Histogramm



Häufigkeitstabelle

U	0	30	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	Total
1	1.27	1.06	0.65	0.62	0.77	0.81	0.58	0.26	0.17	0.30	0.31	0.72	0.48
2	10.23	6.67	4.76	3.63	4.05	4.37	4.27	2.67	1.78	2.08	2.45	5.54	3.43
3	16.45	12.49	10.22	7.13	5.95	7.07	7.83	5.72	3.70	5.17	6.52	11.72	6.90
4	20.03	16.13	13.57	10.57	9.52	9.37	10.35	7.91	6.01	7.39	9.29	16.84	9.75
5	15.59	14.42	14.81	12.77	11.39	12.63	12.06	9.36	7.43	9.02	10.93	16.84	11.09
6	12.60	13.81	14.65	13.51	13.20	12.78	12.03	11.46	9.33	10.03	11.62	14.82	11.81
7	9.79	12.67	12.97	12.83	14.17	12.35	11.61	11.09	10.91	10.44	12.66	11.84	11.80
8	7.33	10.19	10.62	11.52	12.11	11.47	10.01	11.29	12.09	11.48	12.97	9.34	11.37
9	3.07	6.90	7.94	9.70	10.08	9.60	9.84	10.92	12.48	11.40	11.34	6.12	10.18
10	1.87	3.56	4.91	7.49	8.33	7.95	8.60	10.33	11.26	10.56	8.64	3.19	8.47
11	1.07	1.31	2.90	5.32	5.61	5.69	5.79	8.01	9.32	8.11	5.71	1.73	6.19
12	0.46	0.56	1.34	2.67	2.75	3.17	3.76	4.99	6.28	5.48	3.41	0.65	3.79
13	0.16	0.16	0.44	1.29	1.14	1.73	1.95	3.06	4.10	3.60	1.78	0.35	2.23
14	0.09	0.07	0.14	0.62	0.62	0.72	0.80	1.53	2.63	2.33	1.12	0.22	1.30
15	0.00	0.01	0.04	0.22	0.26	0.24	0.30	0.77	1.33	1.42	0.70	0.05	0.68
16	0.00	0.00	0.01	0.08	0.03	0.07	0.17	0.35	0.65	0.60	0.28	0.02	0.29
17	0.00	0.00	0.03	0.01	0.00	0.00	0.04	0.17	0.34	0.30	0.14	0.02	0.14
18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.11	0.16	0.06	0.01	0.06
19	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.03	0.03	0.07	0.02	0.01	0.02
20	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.02	0.02	0.00	0.01
21	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.00	0.01
22	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
23	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00

Ertragspotenzial Deutschland 1km ERA5

Beispiel einer Berechnung bei Lüneburg

Windparkinformationen

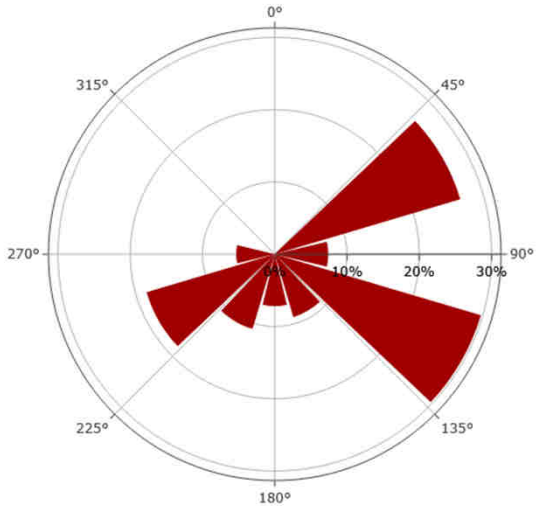
Name	Status	Wake decay Konstante	Höhe über NN [m]	Breite	Länge	Hersteller	Typ	Rotor ⌀ [m]	NH [m]
53.303367x10.350516	vorhanden	0.075	7.7	53.3034	10.3505	General Electric	GE 2.75-120	120	139
53.304843x10.358562	vorhanden	0.075	6.7	53.3048	10.3586	General Electric	GE 2.75-120	120	139
53.305072x10.344057	vorhanden	0.075	6.7	53.3051	10.3441	General Electric	GE 2.75-120	120	139
53.307478x10.350462	vorhanden	0.075	7.6	53.3075	10.3505	General Electric	GE 2.75-120	120	139
53.308085x10.340559	vorhanden	0.075	6.7	53.3081	10.3406	General Electric	GE 2.75-120	120	139
53.308253x10.361111	vorhanden	0.075	7.5	53.3083	10.3611	General Electric	GE 2.75-120	120	139
53.311311x10.362521	vorhanden	0.075	6.7	53.3113	10.3625	General Electric	GE 2.75-120	120	139
Standort 001	geplant	0.075	7	53.3098	10.3562	General Electric	GE 2.75-120	120	139

Daten aus dem Marktstammdatenregister

Ertragspotenzial Deutschland 1km ERA5

Beispiel einer Berechnung bei Lüneburg

Ergebnisse für geplante Anlagen
Referenzperiode: 2005 - 2024
Mittlere Abschattung: 10.71%
Brutto Energieertrag: 9.785 (10.873) GWh/a
Energieertrag inkl. Abschattungsverlust:
8.737 (9.708) GWh/a



Abschattungsverlust	10.71%
Effizienz	89.29%
Brutto Energieertrag [GWh/a]	9.785
Energieertrag inkl. Abschattungsverlust [GWh/a]	8.737

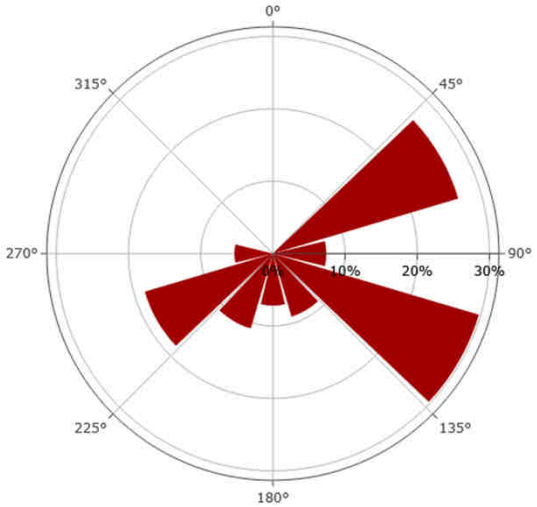
Anzahl Windrichtungssektoren:
12 36

Name	Abschattungsverlust	Effizienz	Windgeschwindigkeit [m/s]	Windgeschwindigkeit inkl. Abschattungsverlust [m/s]	Brutto Energieertrag [GWh/a]	Energieertrag inkl. Abschattungsverlust [GWh/a]
Standort 001	10.71%	89.29%	7.00	6.60	9.785 (10.873)	8.737 (9.708)

Ertragspotenzial: Unterschiede zwischen dem D1E5 und dem D3E5

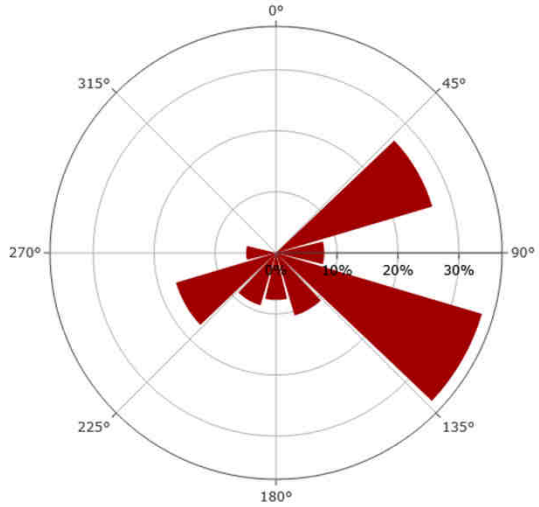
Beispiel einer Berechnung bei Lüneburg

D1E5



Abschattungsverlust	10.71%
Effizienz	89.29%
Brutto Energieertrag [GWh/a]	9.785
Energieertrag inkl. Abschattungsverlust [GWh/a]	8.737

Anzahl Windrichtungssektoren:
◉ 12 ○ 36



Abschattungsverlust	10.64%
Effizienz	89.36%
Brutto Energieertrag [GWh/a]	9.920
Energieertrag inkl. Abschattungsverlust [GWh/a]	8.865

Anzahl Windrichtungssektoren:
◉ 12 ○ 36

D3E5

Ergebnisse für geplante Anlagen

Referenzperiode:

2005 - 2024

Mittlere Abschattung:

10.71% (D1E5) 10.64% (D3E5)

Brutto Energieertrag:

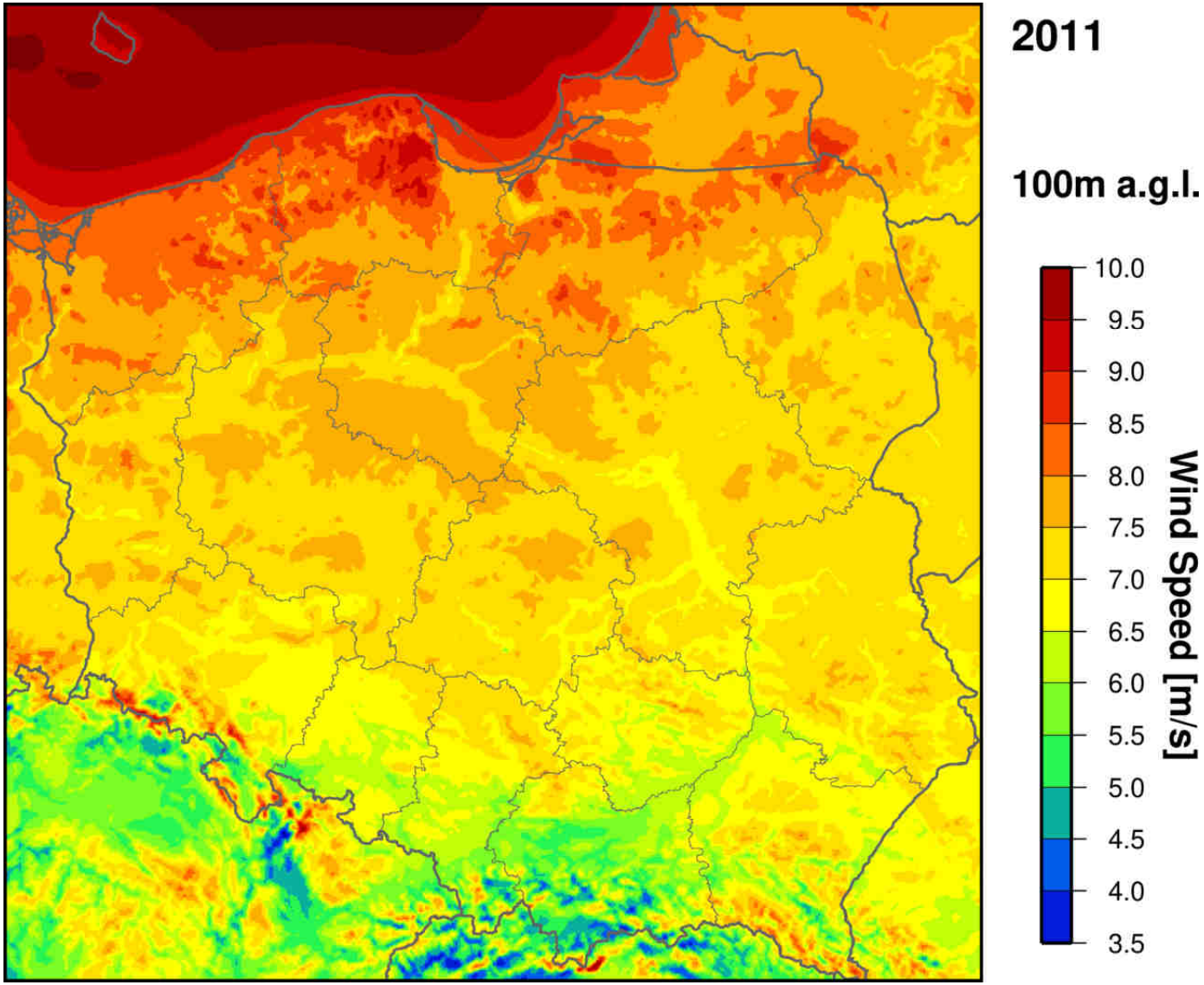
9.785 (10.873) GWh/a (D1E5) 9.920 (11.022) GWh/a (D3E5)

Energieertrag inkl. Abschattungsverlust:

8.737 (9.708) GWh/a (D1E5) 8.865 (9.849) GWh/a (D3E5)

Ausblick

Der neue Polen 1km Atlas PL1E5

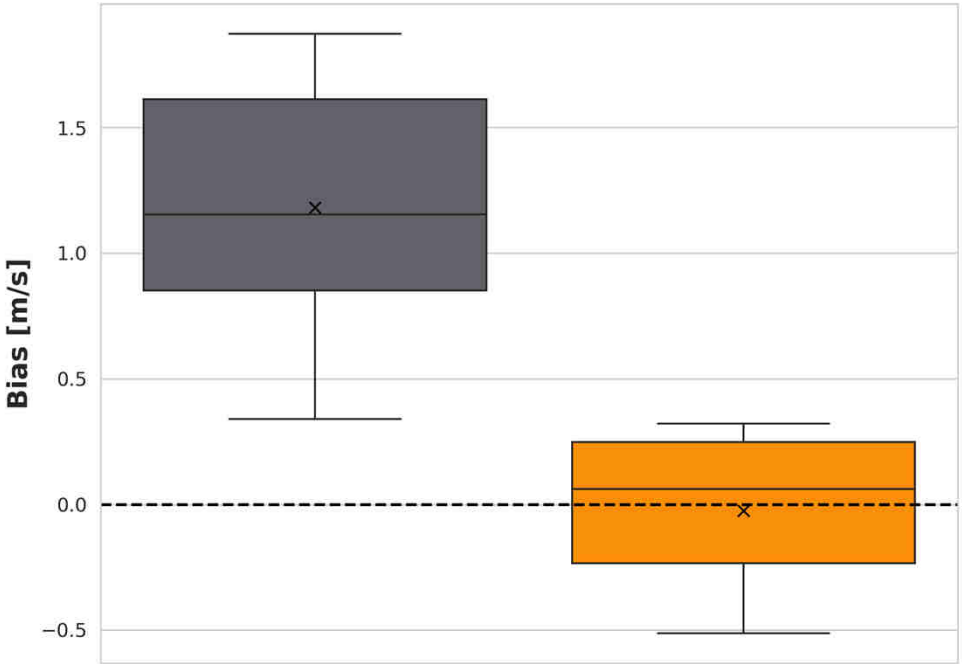


Der neue Polen 1km Atlas PL1E5

- ✓ Kombination von WRF-Simulation und eines MCP-Verfahrens
- ✓ Atlasspezifisches Remodelling
- ✓ Guter Kompromiss zwischen Rechenzeit und der Genauigkeit der Ergebnisse
- ✓ Potential für anderen Regionen / Länder
- ✓ Schnellere Bereitstellung der Ergebnisse
- ✓ Kalibrierung und standortgenaues Downscaling kann durch die hohe Auflösung angewendet werden

Bias

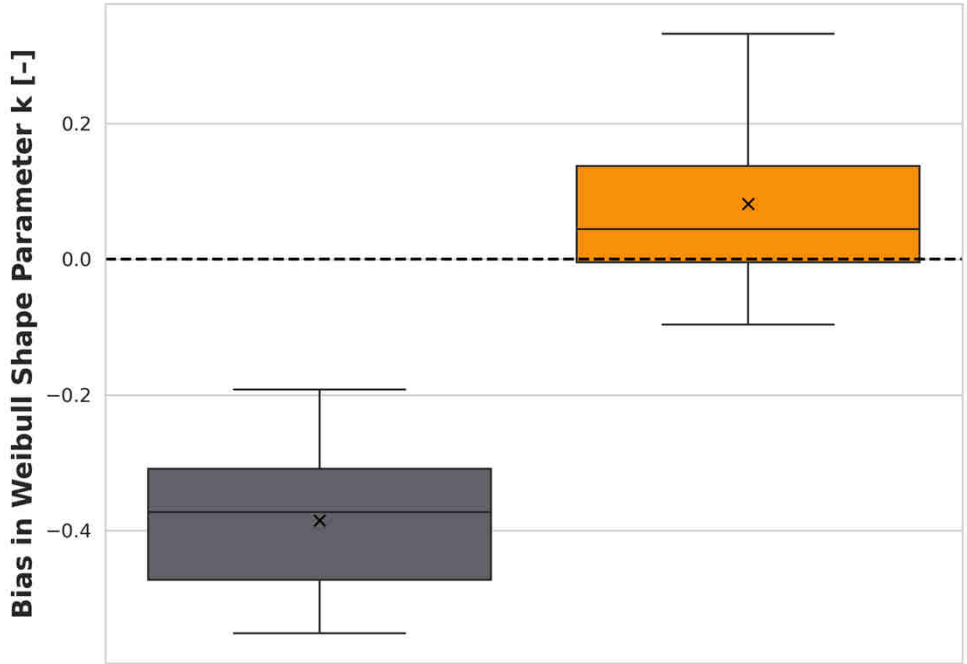
EU10 PL-1km.ERA5



1.18 ± 0.51 **-0.03 ± 0.29**

Bias Weibull k

EU10 PL-1km.ERA5



-0.39 ± 0.12 **0.08 ± 0.13**

Wind- und Ertragspotential berechnen mit dem neuen anemos 1km Windatlas für Deutschland

33. Windenergietage in Potsdam

13. November 2025

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Dr. Markus Kilian

Senior Developer Wind Atlas

anemos Gesellschaft für Umweltmeteorologie mbH
Böhmsholzer Weg 3 | 21391 Reppenstedt | Deutschland
markus.kilian@anemos.de | www.anemos.de