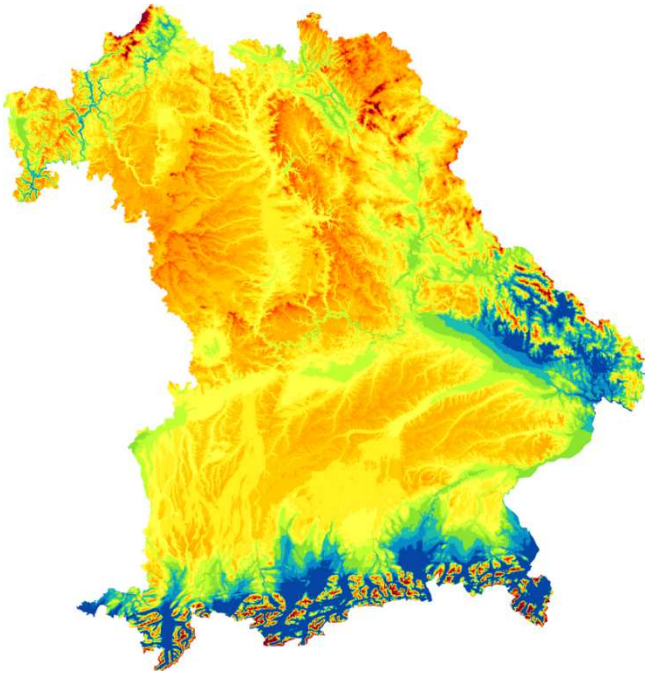
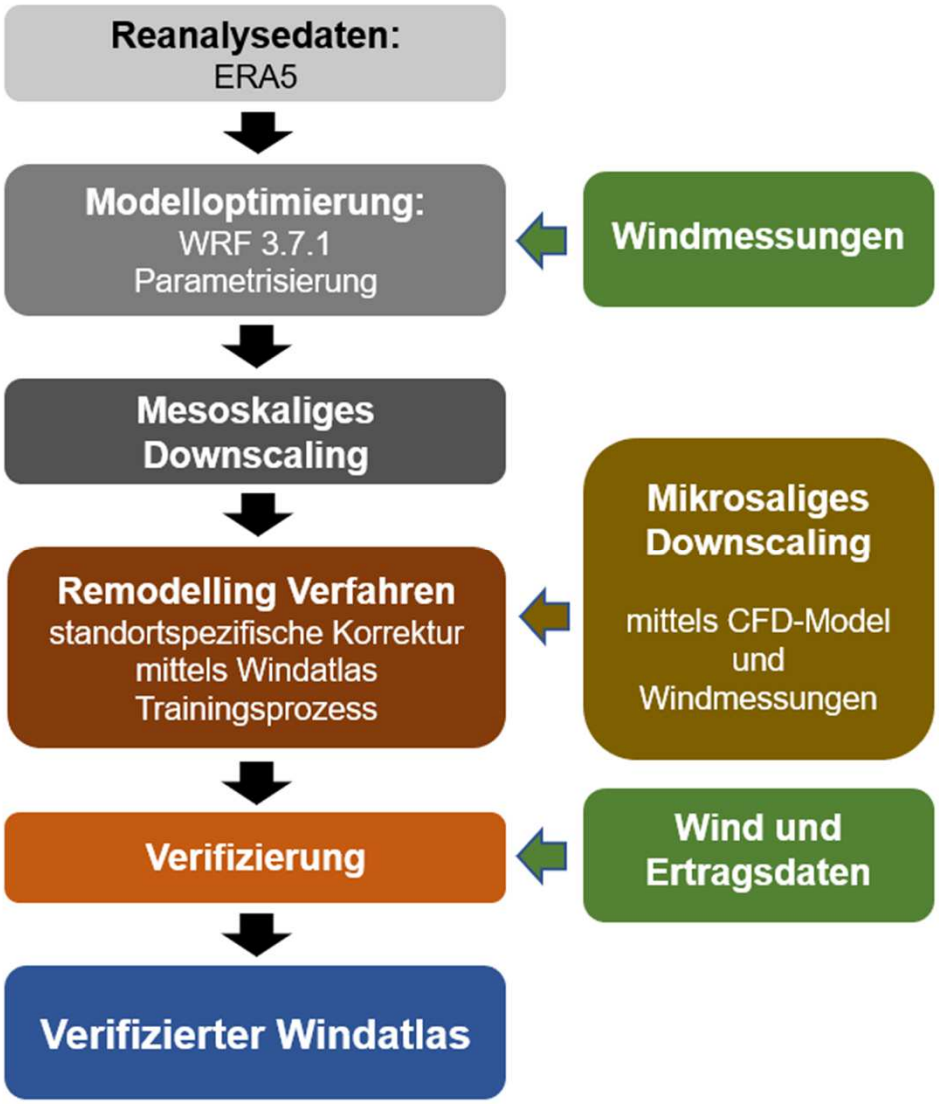
Hochaufgelöste, regionale Windfeldsimulationen – Neuauflage des Bayerischen Windatlas 2021

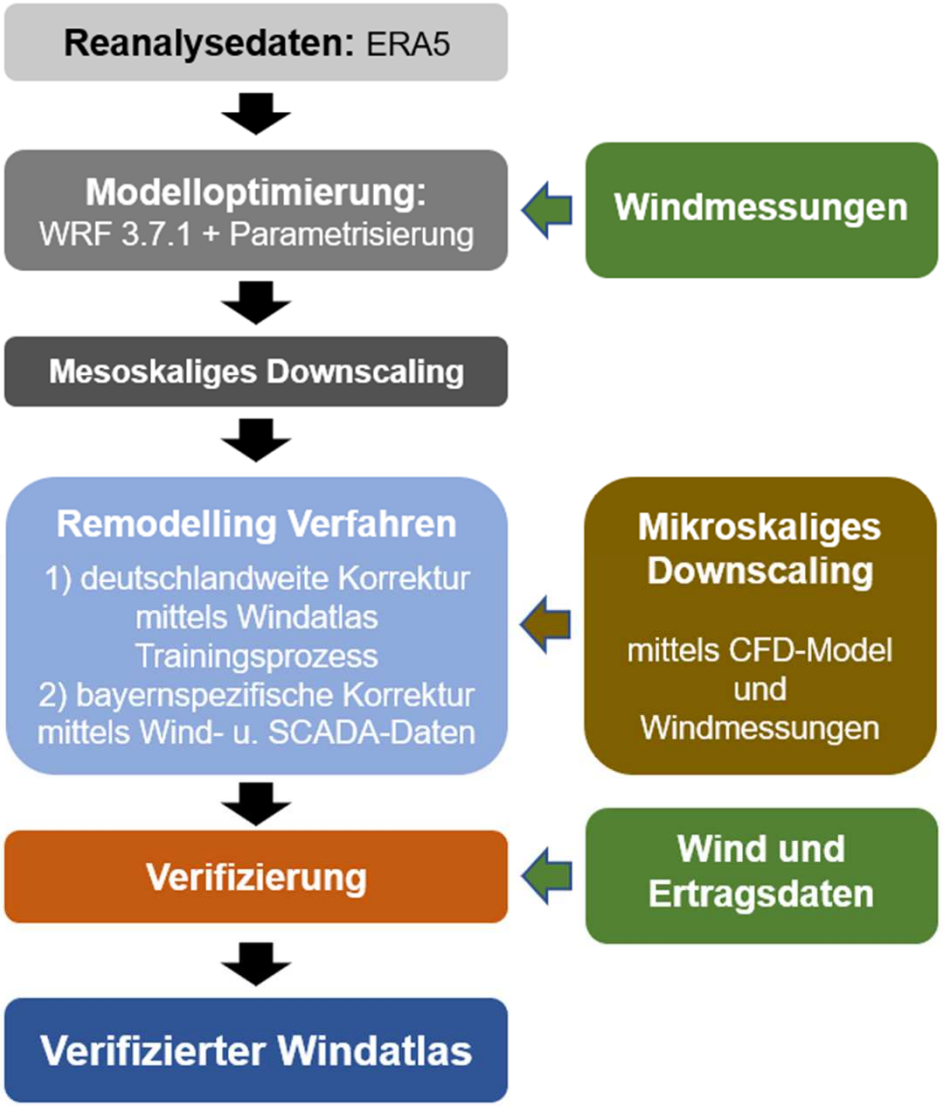


Philine Podein

anemos Gesellschaft für Umweltmeteorologie mbH
www.anemos.de

Deutschland





Deutschland - Bayern

Ziel:

- Neuauflage des Bayerischen Windatlas ⇨ Energie-Atlas Bayern als Planungshilfe
- Verbesserung und Aktualisierung des Bayerischen Windatlas von 2014

In Zusammenarbeit mit:
LfU, StMWi, BWE-LV BY und NES GmbH

Reanalysedaten: ERA5

Modelloptimierung:
WRF 3.7.1 + Parametrisierung

Windmessungen

Mesoskaliges Downscaling

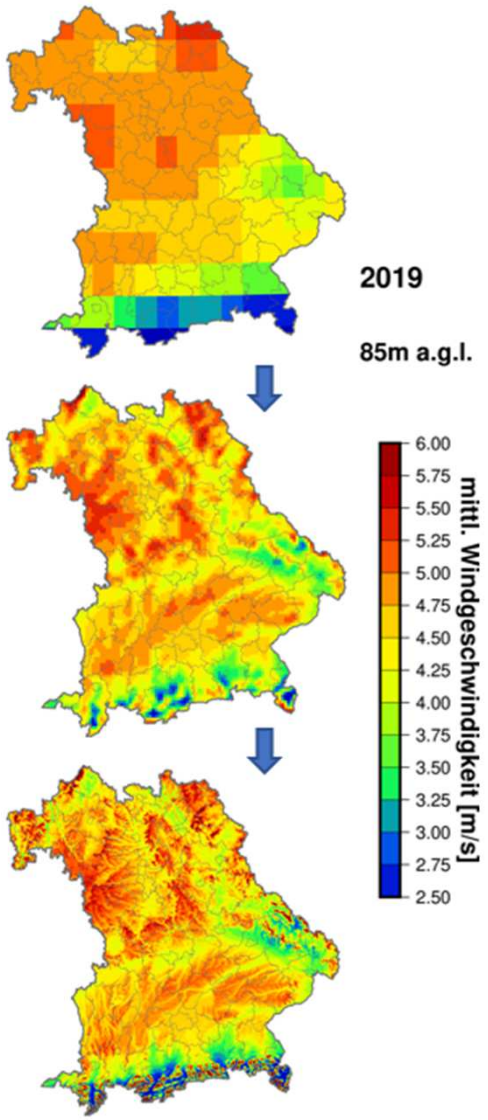
Remodelling Verfahren
1) deutschlandweite Korrektur mittels Windatlas Trainingsprozess
2) bayernspezifische Korrektur mittels Wind- u. SCADA-Daten

Mikroskaliges Downscaling
mittels CFD-Model und Windmessungen

Verifizierung

Wind und Ertragsdaten

Verifizierter Windatlas



Optimierung des Windgeschwindigkeitsfeldes

- Analyse Windmessungen
- Zeitreihen Vergleich ➡ Messungen vs. Atlas
- Verifizierung anhand des Bias ➡ Berechnung Skalierungsfaktoren

10 m – Wind

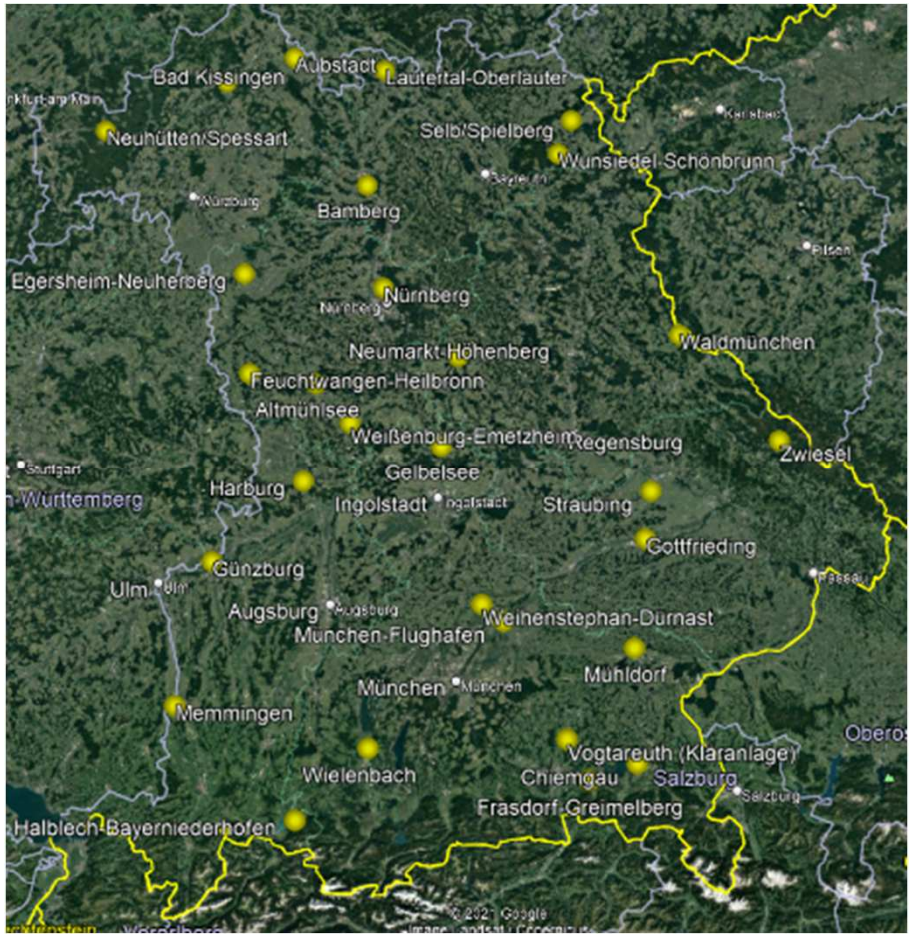
- DWD-Daten (Climate Data Center)
  - 10-Minuten Zeitreihen
  - Exakte Messhöhe auf 10 m (29 Stationen)
- Analyse des Bias
- Regressionsanalyse

➡ Korrekturfunktion (geografische Bedingungen)

100 m – 200 m – Wind

- Messmast, LiDAR, SoDAR & SCADA-Daten
- 15 interne und externe Messungen
- 39 SCADA-Daten
- Bias Analyse je Layer

➡ Korrekturfunktion (geografische Bedingungen)



10 m – Wind

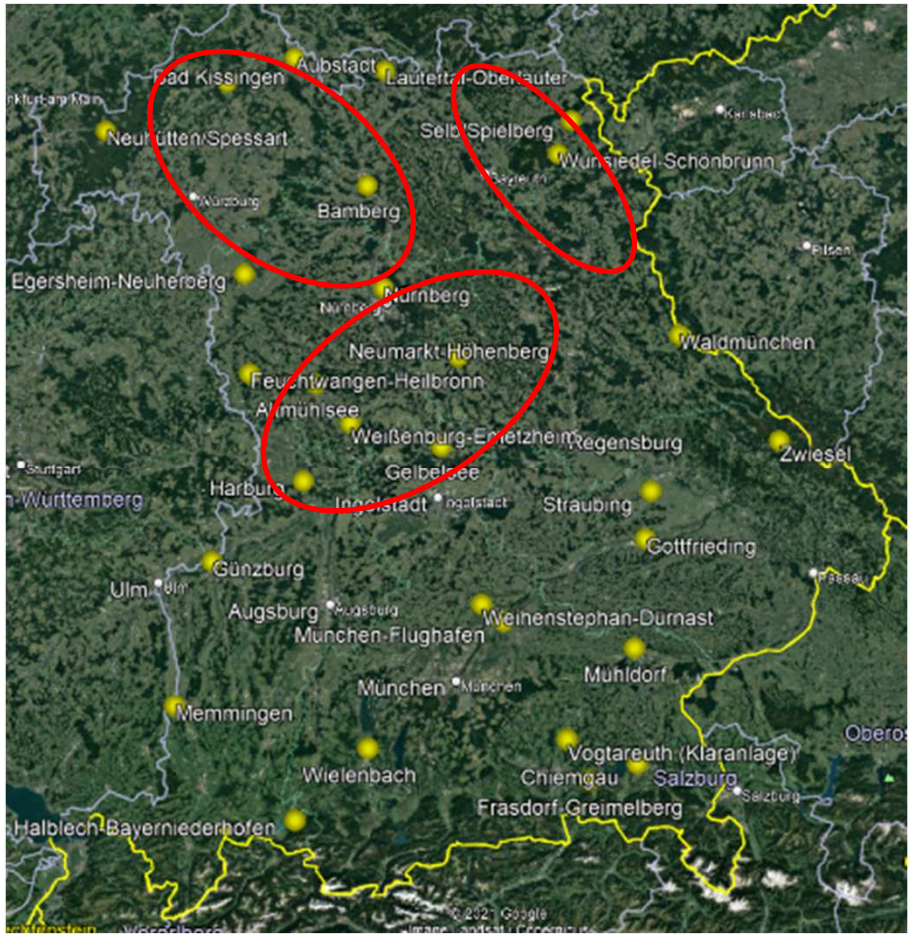
- DWD-Daten (Climate Data Center)
  - 10-Minuten Zeitreihen
  - Exakte Messhöhe auf 10 m (29 Stationen)
- Analyse des Bias
- Regressionsanalyse

➡ Korrekturfunktion (geografische Bedingungen)

100 m – 200 m – Wind

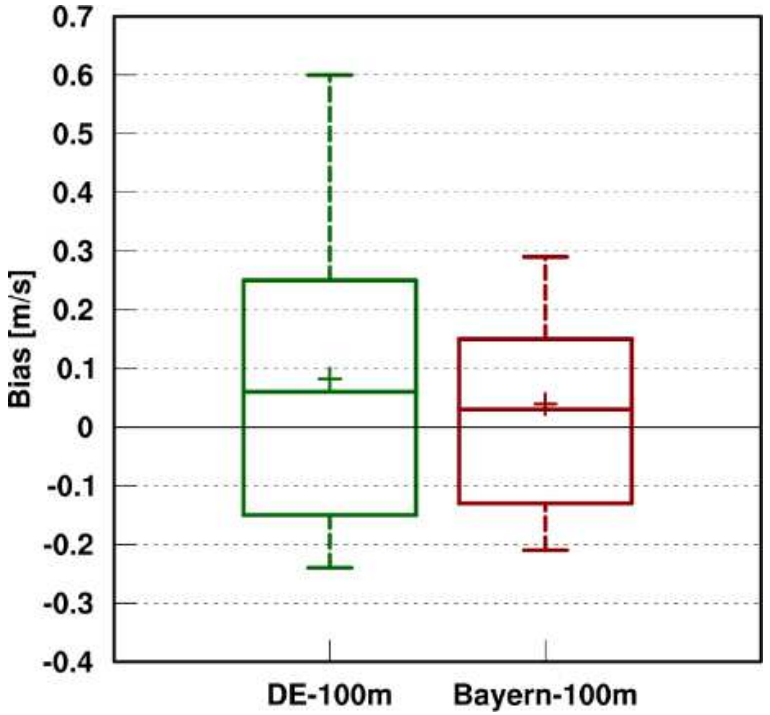
- Messmast, LiDAR, SoDAR & SCADA-Daten
- 15 interne und externe Messungen
- 39 SCADA-Daten
- Bias Analyse je Layer

➡ Korrekturfunktion (geografische Bedingungen)



- Auskunft über Windverhältnisse in Bayern
  - mittlere Windgeschwindigkeit
  - gekappte mittlere Windleistungsdichte
  - mittlere Turbulenzintensität
  - möglichen Standortertrag
  - Standortgüte einer Windenergieanlage (WEA)
- Ergebnisse für 10 m (nur die Windgeschwindigkeit), 100 m, 120 m, 140 m, 160 m, 180 m & 200 m über Grund
- Auflösung von 10 m x 10 m
- Ergebnisse für einen WEA-Mischtyp aus Nordex N149, Enercon E147 & Vestas V150 mit 148 m Rotordurchmesser und 5 MW Nennleistung

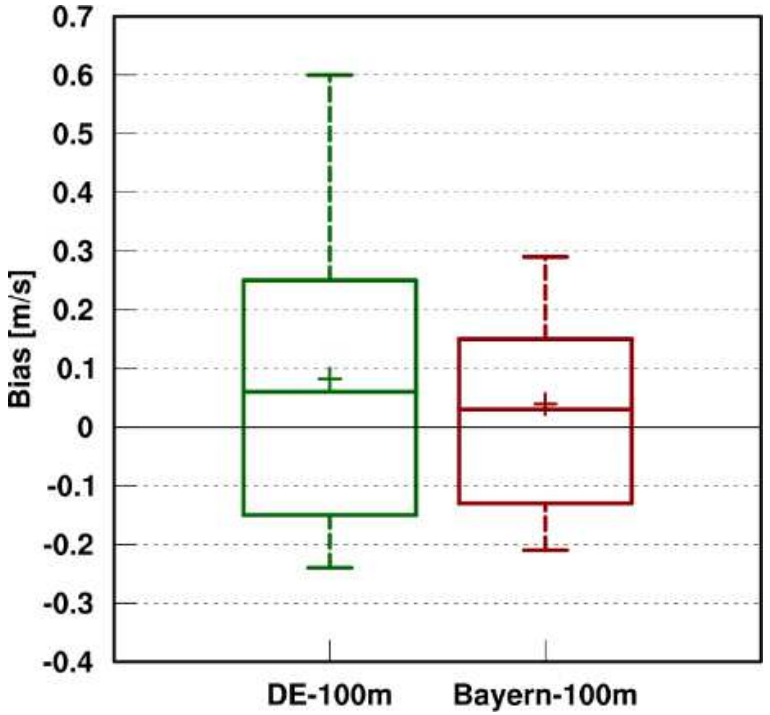
- Messungen mit vollständigen Jahresperioden
- Geringere Streuung der Daten des Bayerischen Windatlas



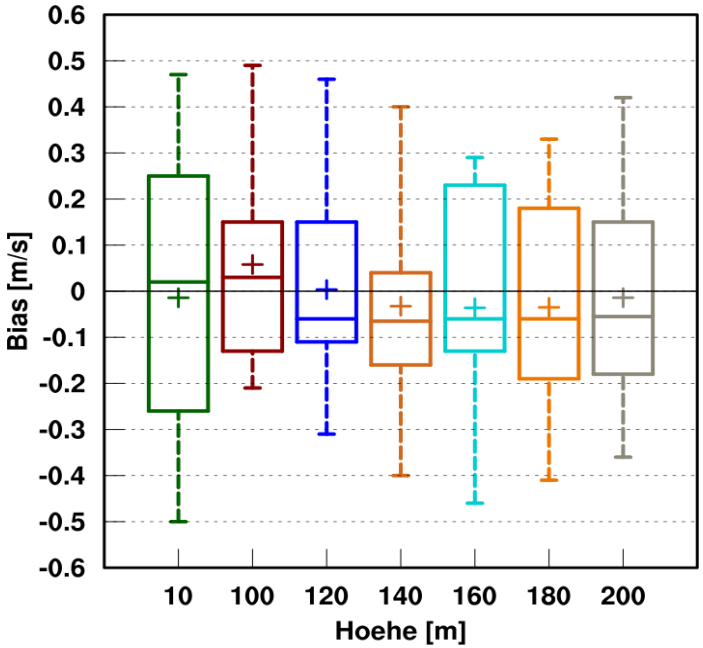
Region (100m)	Anzahl	Bias [m/s]
Süddeutschland/ Alpen (Deutschland-Atlas)	13	0.08 ± 0.25
Bayern Windatlas	13	0.04 ± 0.15

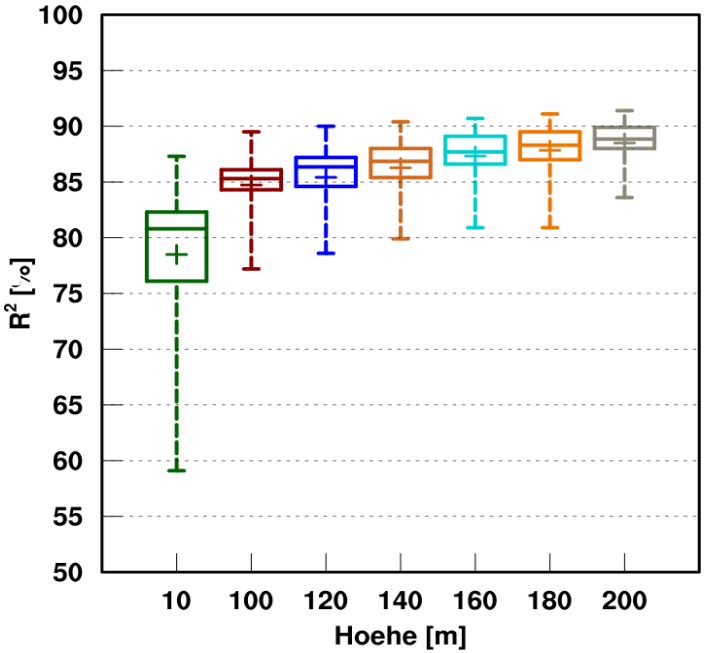
- Messungen mit vollständigen Jahresperioden
- Geringere Streuung der Daten des Bayerischen Windatlas

➡ Signifikante Verbesserung durch die speziellen Optimierungsschritte



Region (100m)	Anzahl	Bias [m/s]
Süddeutschland/ Alpen (Deutschland-Atlas)	13	0.08 ± 0.25
Bayern Windatlas	13	0.04 ± 0.15

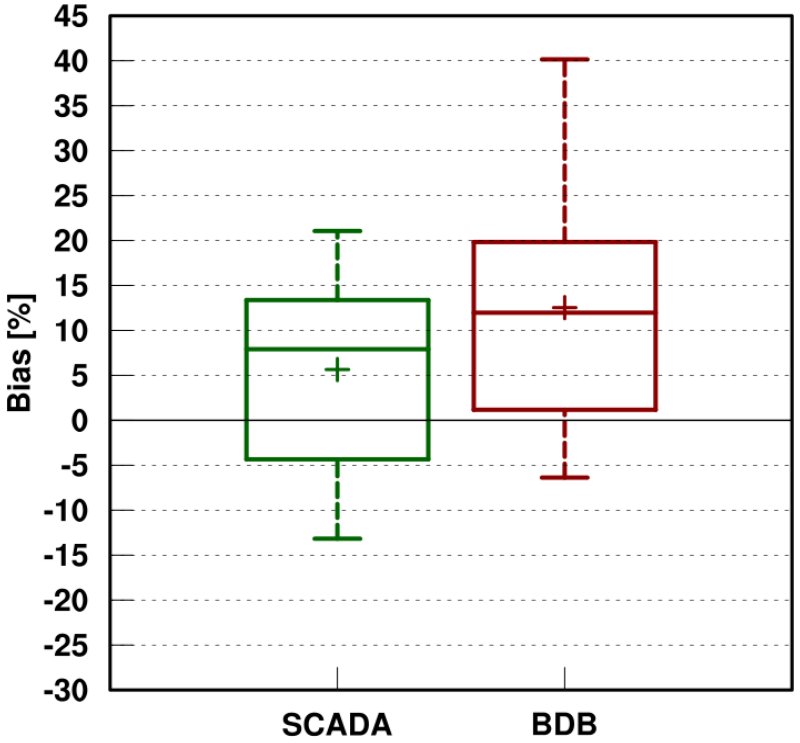




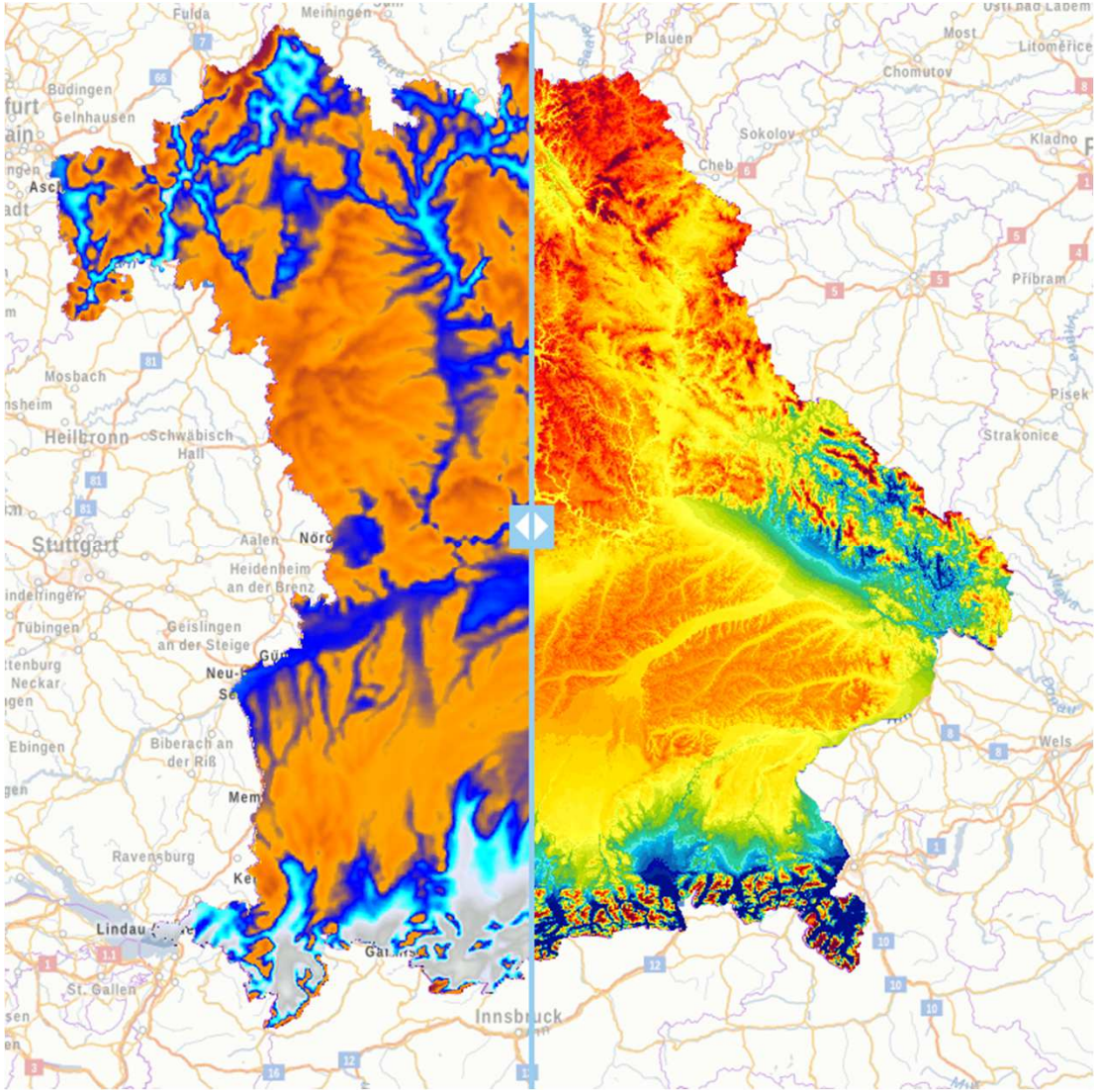
Höhe [m]	Bias [m/s]	Standardabweichung [m/s]	Anzahl der Messungen
10	-0.01	0.27	29
100	0.06	0.19	15
120	0.01	0.19	14
140	-0.03	0.22	12
160	-0.03	0.24	10
180	-0.03	0.24	10
200	-0.01	0.26	10

- Höherer Bias als bei Messungen
- Mit 5.7 % (SCADA) und 12.5 % (BDB) im erwarteten Rahmen
- Modellannahme: WEA und deren Rotorblätter stehen nahezu perfekt im Wind

⇨ 5.7 % entsprechen ungefähr der Abweichung des Modells

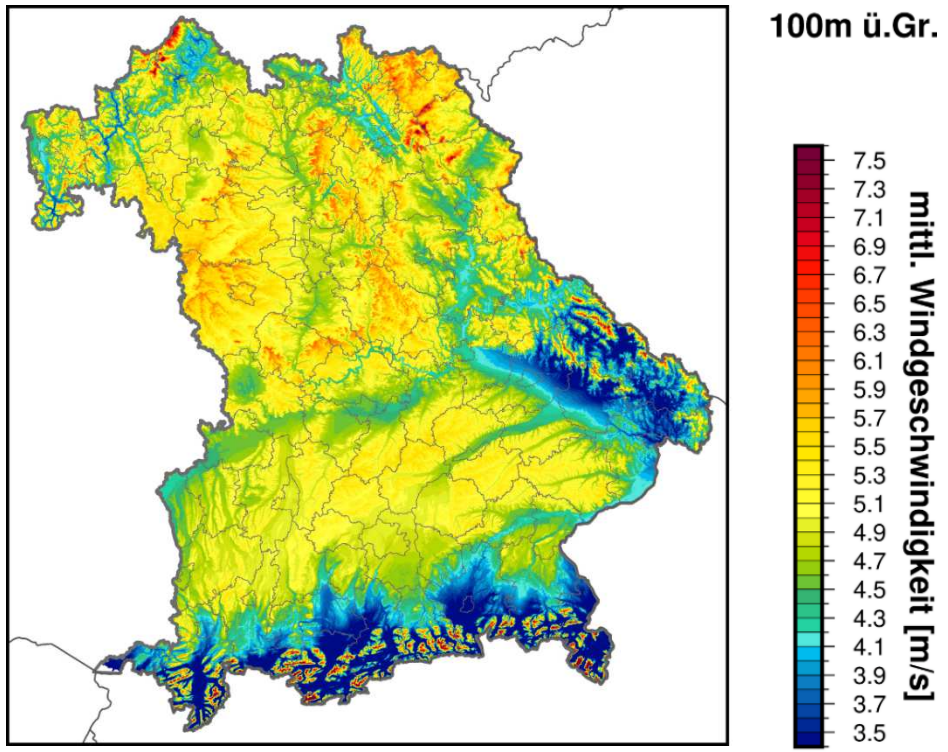


2014 2021


Fulda
Meiningen
Plauen
Most
Litoměřice
Chomutov
Sokolov
Cheb
Kladno
Příbram
Písek
Strakonice
Mosbach
Heilbronn
Schwäbisch Hall
Stuttgart
Aalen
Heidenheim an der Brenz
Tübingen
Geislingen an der Steige
Ebingen
Biberach an der Riß
Ravensburg
Lindau
St. Gallen
Innsbruck
Wels

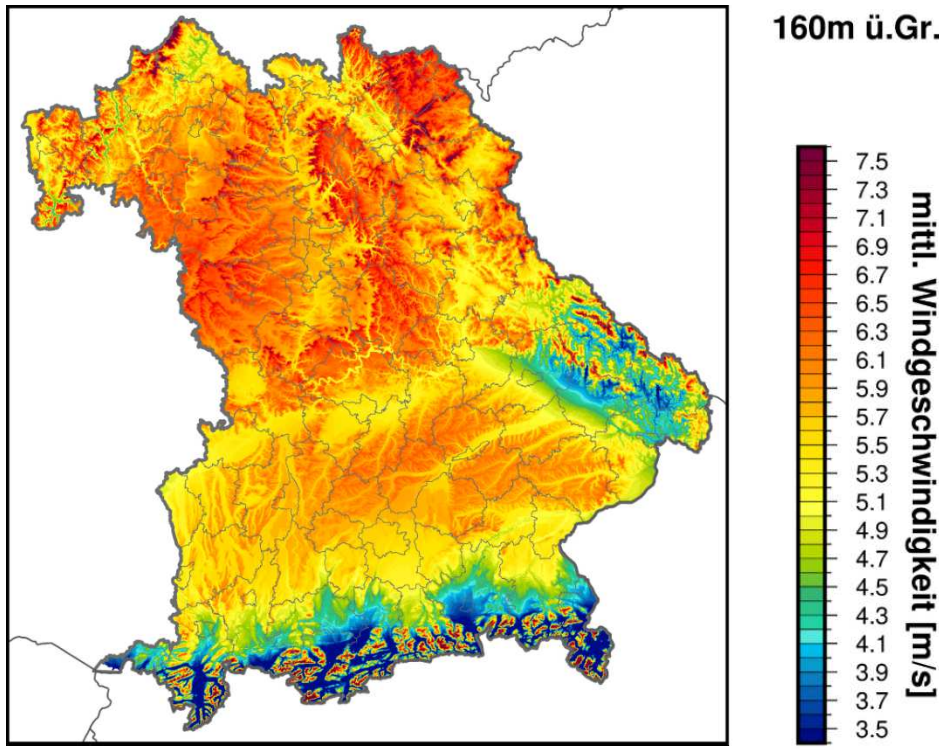
Windgeschwindigkeit

- Horizontale Komponente des Windvektors
- Topographische Höhe nicht allein ausschlaggebend für gute Windverhältnisse
  - ➡ Bayerischer Wald hat windschwächere Verhältnisse



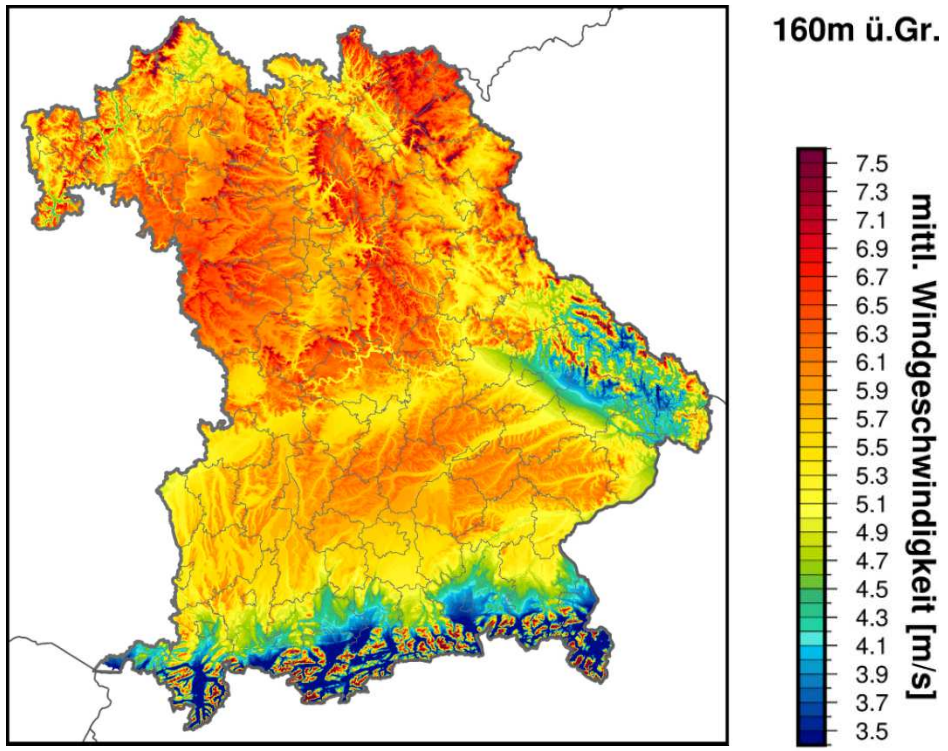
Windgeschwindigkeit

- Horizontale Komponente des Windvektors
- Topographische Höhe nicht allein ausschlaggebend für gute Windverhältnisse
  ➡ Bayerischer Wald hat windschwächere Verhältnisse
- Spessart, Rhön & Fränkische Alb topographisch niedriger, aber bessere Windverhältnisse
  ➡ nördlicher ➡ Einfluss südwestlicher Winde größer



Windgeschwindigkeit

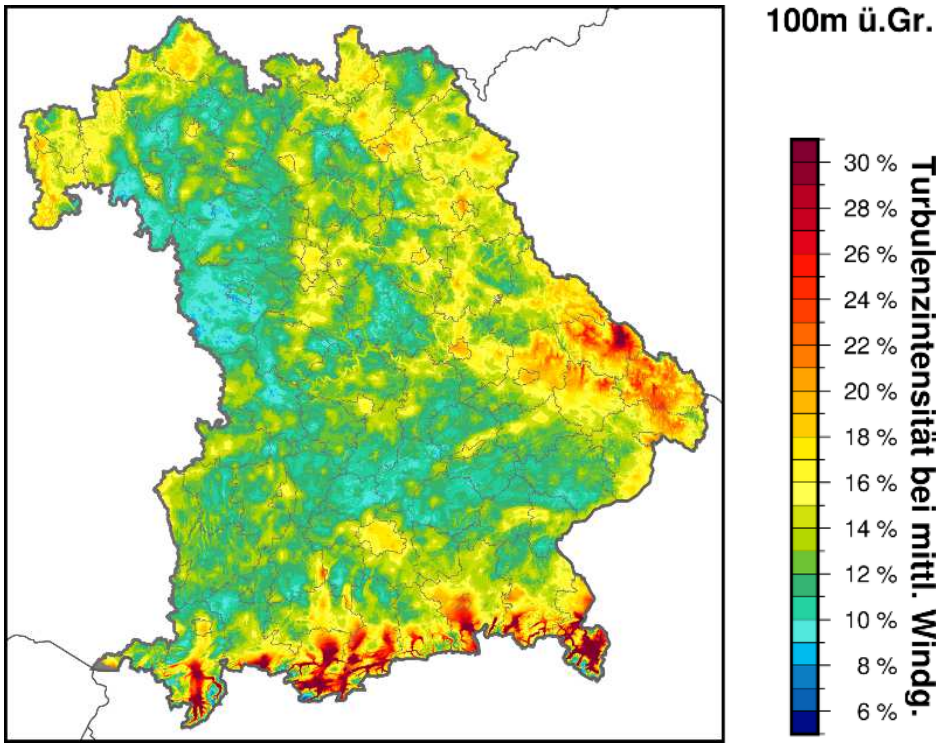
- Horizontale Komponente des Windvektors
- Topographische Höhe nicht allein ausschlaggebend für gute Windverhältnisse
  ➡ Bayerischer Wald hat windschwächere Verhältnisse
- Spessart, Rhön & Fränkische Alb topographisch niedriger, aber bessere Windverhältnisse
  ➡ nördlicher ➡ Einfluss südwestlicher Winde größer



➡ In weiten Teilen Bayerns Windgeschwindigkeiten von 5 – 6 m/s

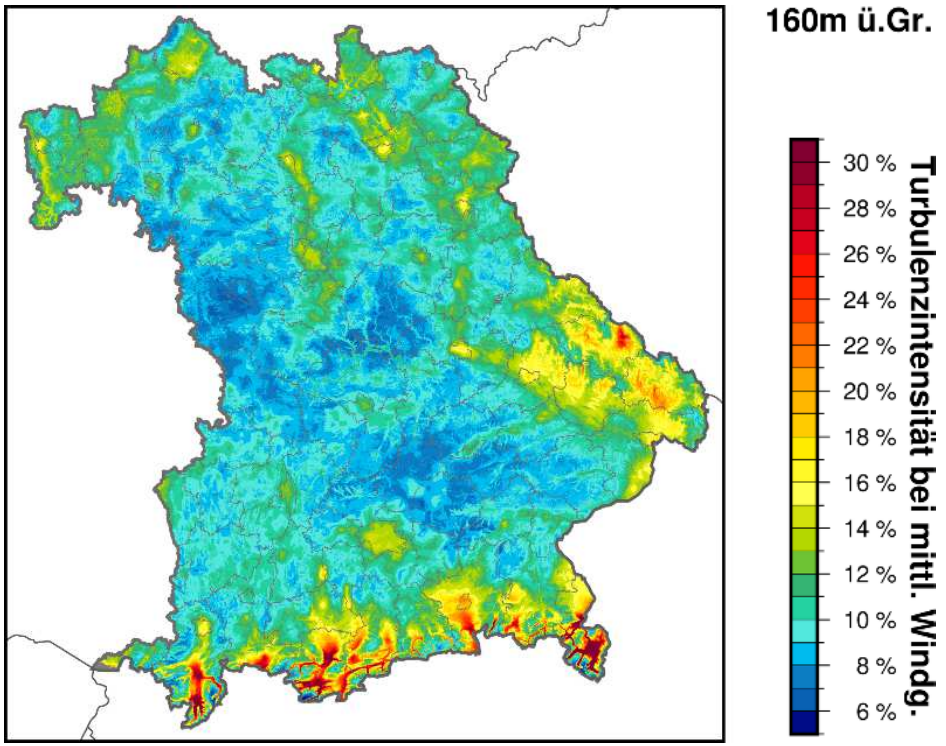
Mittlere Turbulenzintensität

- Weite Teile Bayerns weisen niedrige Turbulenzintensität auf
- Alpenraum & Bayerischer Wald zeigen Turbulenzintensität über 30 %



Mittlere Turbulenzintensität

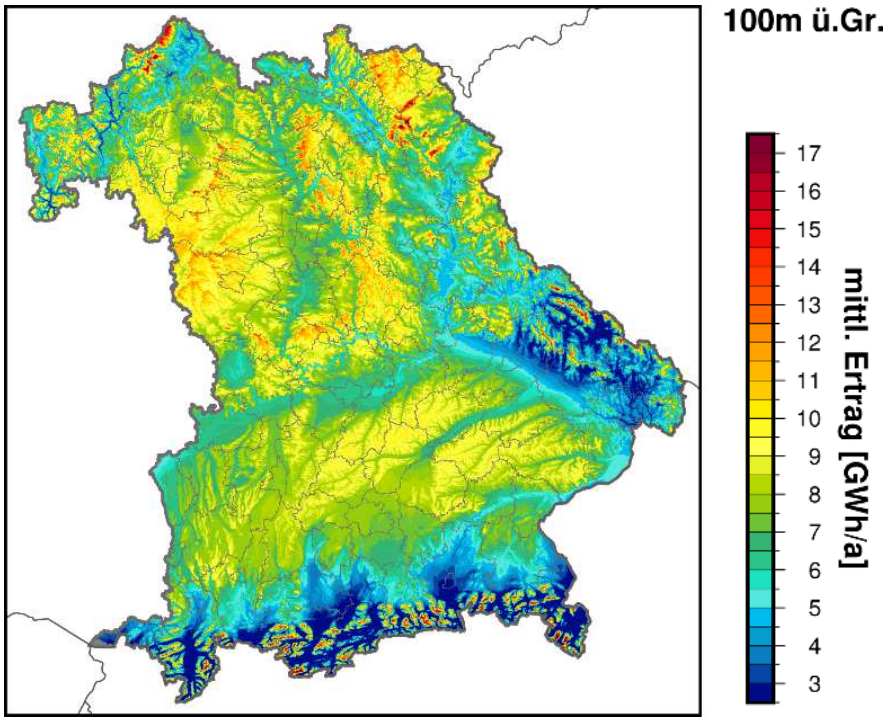
- Weite Teile Bayerns weisen niedrige Turbulenzintensität auf
- Alpenraum & Bayerischer Wald zeigen Turbulenzintensität über 30 %
- Einfluss der Rauigkeit und Orographie erkennbar an höheren Werten z. B. in München
- Nimmt mit der Höhe ab



- Erstmalige Darstellung der Turbulenzintensität
- Führt zu plausiblen Ergebnissen
  ⇨ Bestätigung durch Vergleich mit Messungen
- Weiterführende Analysen zur Verbesserung und Weiterentwicklung

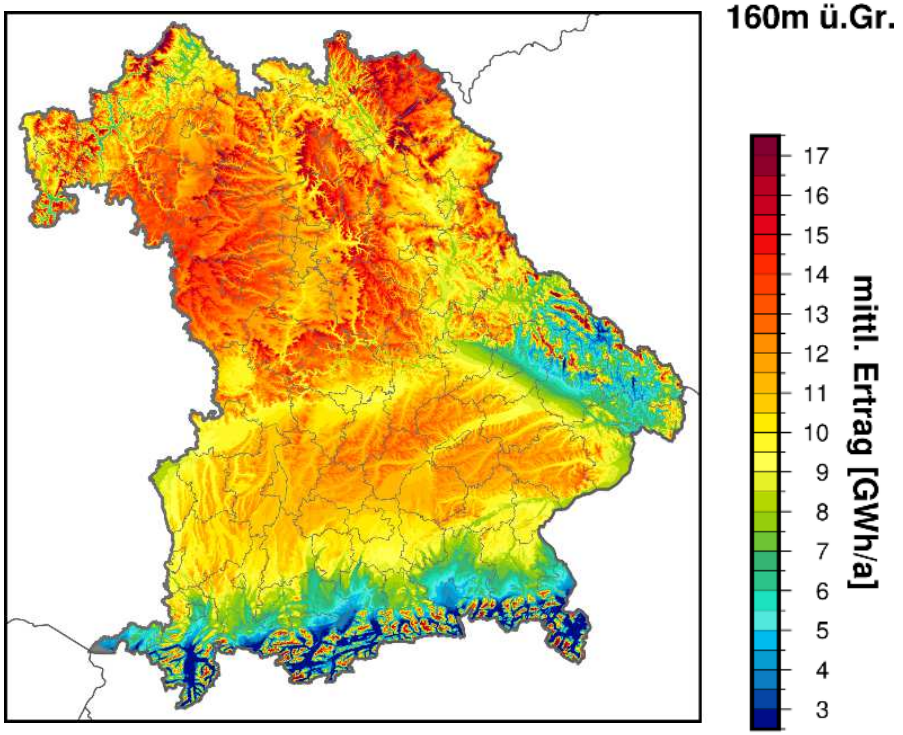
Standortertrag

- Abschätzung der Wirtschaftlichkeit eines Windparks
- Keine Einberechnung von Verlusten im Anlagenbetrieb
- 160 m Höhe über Grund
  - ➡ Nordbayern große Gebiete mit Standorterträgen über 13 GWh/a



Standortertrag

- Abschätzung der Wirtschaftlichkeit eines Windparks
- Keine Einberechnung von Verlusten im Anlagenbetrieb
- 160 m Höhe über Grund
  - ➡ Nordbayern große Gebiete mit Standorterträgen über 13 GWh/a



➡ Viele Gebiete mit steigender Nabenhöhe wirtschaftlich

- Erhebliche Verbesserungen im Hinblick auf Modellsystem, Berechnungsmethode und Datenbasis zur Verifikation
- Speziell für Bayern entwickeltes Optimierungsverfahren zur Behebung systematischer Differenzen zwischen Modell- und Beobachtungsdaten liefert bessere Ergebnisse im Vergleich zu Deutschland
- Informationsgewinn durch hohe Auflösung 10 x 10 m^2 (10-fache Steigerung der Auflösung zu 2014)
- Verifizierung ergibt geringen Bias zwischen Messungen und Atlas
- Insgesamt weist Nordbayern bessere Bedingungen für WEA auf als Südbayern

- Erhebliche Verbesserungen im Hinblick auf Modellsystem, Berechnungsmethode und Datenbasis zur Verifikation
- Speziell für Bayern entwickeltes Optimierungsverfahren zur Behebung systematischer Differenzen zwischen Modell- und Beobachtungsdaten liefert bessere Ergebnisse im Vergleich zu Deutschland
- Informationsgewinn durch hohe Auflösung 10 x 10 m^2 (10-fache Steigerung der Auflösung zu 2014)
- Verifizierung ergibt geringen Bias zwischen Messungen und Atlas
- Insgesamt weist Nordbayern bessere Bedingungen für WEA auf als Südbayern

⇒ Bayerischer Windatlas zeigt ein sehr plausibles Bild und ist für die vorgesehenen Anwendungsgebiete sehr gut geeignet.

- Erhebliche Verbesserungen im Hinblick auf Modellsystem, Berechnungsmethode und Datenbasis zur Verifikation
- Speziell für Bayern entwickeltes Optimierungsverfahren zur Behebung systematischer Differenzen zwischen Modell- und Beobachtungsdaten liefert bessere Ergebnisse im Vergleich zu Deutschland
- Informationsgewinn durch hohe Auflösung 10 x 10 m^2 (10-fache Steigerung der Auflösung zu 2014)
- Verifizierung ergibt geringen Bias zwischen Messungen und Atlas
- Insgesamt weist Nordbayern bessere Bedingungen für WEA auf als Südbayern

⇒ Bayerischer Windatlas zeigt ein sehr plausibles Bild und ist für die vorgesehenen Anwendungsgebiete sehr gut geeignet.

Vielen Dank für die Aufmerksamkeit!