

Erstellung einer Windböenklimatologie für Deutschland unter Verwendung eines neuronalen Netzes

Stanley, K. | Primo, C. | Brune, S. | Dalelane, C. | Mannig, B. | Früh, B.

Kernaussagen

- Bislang existieren keine qualitativ hochwertigen, gerasterten Beobachtungsdaten für Windspitzen in Deutschland.
- Diese Datenlücke kann durch Methoden der Künstlichen Intelligenz (KI) geschlossen werden. Mithilfe eines neuronalen Netzes lässt sich ein flächendeckender und hochaufgelöster Windböen-Datensatz mit stündlicher Auflösung für Deutschland erzeugen, der beispielsweise zur Analyse von Sturmwurfgefahren genutzt werden kann.
- Die Methodik erzielt eine Halbierung des Fehlers (RMSE) im Vergleich zum derzeit besten verfügbaren Winddatensatz COSMO-REA6.

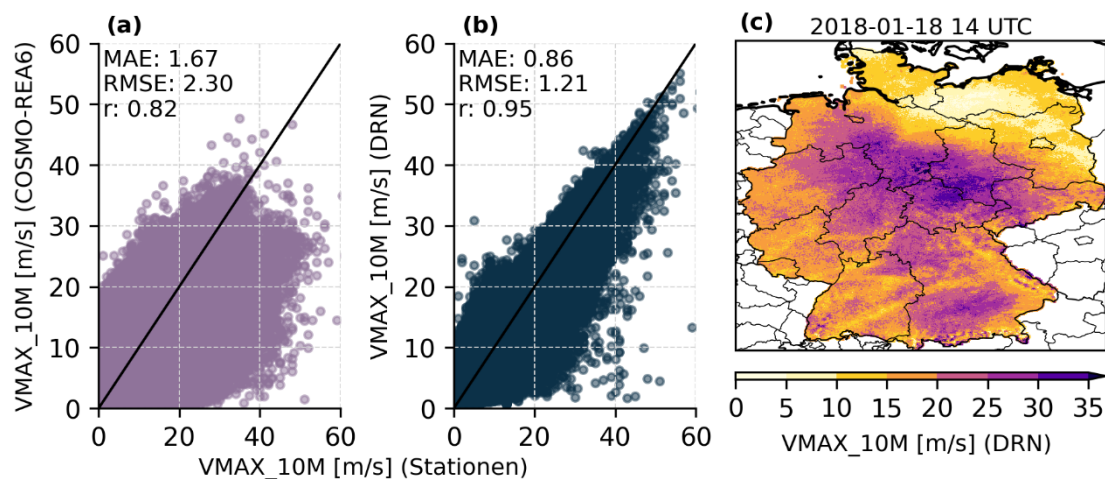


Abb. 1: Korrelationsdiagramme der maximalen stündlichen Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe (VMAX_10M) aus Messungen von 313 DWD-Wetterstationen (1995–2018) im Vergleich zu (a) VMAX_10M aus COSMO-REA6 und (b) den vom DRN vorhergesagten Werten. Angegeben sind der mittlere absolute Fehler (MAE), die Wurzel des mittleren quadratischen Fehlers (RMSE) sowie der Korrelationskoeffizient (r). (c) Räumliche Verteilung von VMAX_10M über Deutschland aus dem DRN während des Sturms Friederike am 18. Januar 2018, 14 UTC.

Hintergrund und Ziele

Windböen zählen zu den bedeutendsten wetterbedingten Gefahren für die Verkehrsinfrastruktur in Mitteleuropa. Sie können innerhalb kurzer Zeit erhebliche Kräfte auf Fahrzeuge, Gebäude und technische Anlagen ausüben und so zu großflächigen Störungen des Straßen- und Schienenverkehrs sowie zu hohen wirtschaftlichen Schäden führen. Ein flächendeckender und qualitativ hochwertiger Windböendatensatz ist daher eine zentrale Grundlage für die Bewertung von Klimarisiken und die Anpassung der Verkehrsinfrastruktur an den Klimawandel.

Die Windgeschwindigkeit einer Böe ist definiert als das kurzzeitige Maximum der horizontalen Windgeschwindigkeit innerhalb eines längeren Messintervalls (in der Regel einer Stunde). Zwar existieren punktuelle Messdaten an Wetterstationen, jedoch bislang keine räumlich hochaufgelösten Beobachtungsdatensätze für das gesamte Bundesgebiet. Der derzeit verfügbare Reanalysedatensatz COSMO-REA6 (räumliche Auflösung ~6 km) bildet das kleinskalige Phänomen der Windböen nur unzureichend

ab. Diese Lücke wurde im vorliegenden Projekt durch die Erstellung eines neuen, hochaufgelösten **Rasterdatensatzes der maximalen stündlichen Windgeschwindigkeit in 10 m Höhe** geschlossen. Der Datensatz umfasst den Zeitraum 1995 bis 2018 und weist eine räumliche Auflösung von 1 km auf. Damit steht erstmals eine deutschlandweite Grundlage zur Analyse von Böenklimatologien und zur Abschätzung von Windrisiken auf feiner Skala zur Verfügung.

Erkenntnisse und Ausblick

Die mit Hilfe der KI postprozessierten Windböen zeigen eine deutlich höhere Korrelation mit den Stationsmessungen als die Werte aus COSMO-REA6. Die Fehlermaße MAE und RMSE werden um fast 50% reduziert (siehe Abb. 1a und 1b). Abbildung 1c zeigt beispielhaft das von der KI vorhergesagte Windfeld während des Sturms Friederike (18. Januar 2018). Die Ergebnisse zeigen, dass der neuronale Ansatz kleinskalige Prozesse und lokale Windmaxima wesentlich genauer wiedergeben kann als die zugrunde liegende Reanalyse.

Methodik

Zur Erzeugung des Datensatzes wurde ein neuronales Netzwerk auf Basis der Distributional Regression Network (DRN)-Architektur eingesetzt. Diese Methode ermöglicht es, nichtlineare Zusammenhänge zwischen meteorologischen, topografischen und bodennahen Prädiktoren datengestützt zu erlernen. Grundlage bildet die in Primo et al. (2024) vorgestellte, erweiterte Implementierung des DRN-Ansatzes, die für die flächendeckende Anwendung auf geographischen Gittern angepasst wurde. So kann für jeden Gitterpunkt die Zielvariable (maximale Windgeschwindigkeit innerhalb einer Stunde in 10 m Höhe) vorhergesagt werden.

Die Eingangsdaten umfassen meteorologische Datensätze des DWD (COSMO-REA6, HOSTRADA, RADKLIM) sowie hochaufgelöste Geländemodelle und Landnutzungsdaten, wobei Beobachtungen der maximalen stündlichen Windgeschwindigkeit von 313 DWD-Stationen mit den entsprechenden Zeitschritten und nächstgelegenen Gitterpunkten der Prädiktordaten verknüpft wurden.

Das DRN besteht aus zwei Hidden Layers zwischen Input- und Output-Layer; als Loss Function kommt der Continuous Ranked Probability Score (CRPS) zum Einsatz. Als Wahrscheinlichkeitsverteilung wird eine Gamma-Verteilung genutzt, deren Form- und Skalenparameter (Shape und Scale) das Netzwerk direkt schätzt. Dadurch lassen sich sowohl die wahrscheinlichste Windböe als auch die Unsicherheit der Vorhersage quantifizieren.

Für den gesamten Zeitraum von 1995–2018 werden die stündlichen Gamma-Verteilungen anschließend zu Weibull-Verteilungen zusammengefasst, aus denen verschiedene statistische Kenngrößen (z.B. Mittelwert, Median, 90. und 99. Perzentil sowie Extremkennwerte) abgeleitet werden.

Weiterführende Informationen

Stanley K, Primo C, Brune S, Dalelane C und Mannig B (2024): Bericht zur Dokumentation von Forschungsansätzen zur Erzeugung einer hochaufgelösten Böenklimatologie. Produktbericht des Schwerpunktthemas 101 (SPT-101) im Themenfeld 1 des BMV-Forschungsnetzwerk.

Zitierte Literatur

Primo C, Schulz B, Lerch S und Hess R (2024): Comparison of Model Output Statistics and Neural Networks to Postprocess Wind Gusts. arXiv:2401.11896. DOI: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2401.11896>

Kontakt | klima.offenbach@dwd.de

Stand | 24.10.2025

Die Arbeiten des BMV-Forschungsnetzwerks „Wissen – Können – Handeln“ wurden durch das Bundesministerium für Verkehr (BMV) gefördert. Internet: www.BMV-Forschungsnetzwerk.bund.de