

Fortbildung der Sektion DMG-MD:

**Aktuelle Entwicklungen bei meteorologischen Anwendungen in der Windenergiebranche**  
Astrid Ziemann

Windenergie leistet schon heute den größten Beitrag zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Energiequellen. Im Offshore- und auch im Onshore-Bereich bestehen Ausbaupotenziale, die kurz- bis mittelfristig genutzt werden können. Dabei sind besonders Waldflächen von steigendem Interesse und bieten ein großes Potenzial für Windenergieapplikationen. Die angestrebte Flächennutzung in Landschaften mit heterogenen Oberflächeneigenschaften führt zu neuen Herausforderungen u.a. für Planer, Betreiber, Investoren und Hersteller von Windenergieanlagen. Vor diesem Hintergrund wurde am 05. Dezember 2018 eine Fortbildungsveranstaltung der Sektion Mitteldeutschland an der Technischen Universität Dresden, Professur für Meteorologie in Tharandt durchgeführt. Der Workshop informierte über Herausforderungen und Entwicklungen bei meteorologischen Anwendungen in der Windenergiebranche. Dazu gaben Vorträge von Wissenschaftlern und Praxisvertretern einen aktuellen Überblick und Einstieg in die teils lebhaft diskutierte Diskussion der 28 Teilnehmer.

*Windgeschwindigkeit auf Nabenhöhe: Vergleich von regionalen Reanalysen und extrapolierten Beobachtungen* (Christopher Frank, Universität zu Köln)

Atmosphärische Reanalysen gewinnen im Laufe der Energiewende zunehmend an Interesse. Da der Wind auf verschiedensten Raum- und Zeitskalen variiert und von lokalen Bedingungen abhängt, ist die Beschreibung der Windcharakteristik nur mit zeitlich und räumlich hoch aufgelösten Langzeitinformationen des Windes möglich. Diese raumzeitlich aufgelöste und weitestgehend trendunbehaftete Langzeitinformation des Windes auf Nabenhöhe findet man aktuell in so genannten atmosphärischen Reanalysen.

In diesem Beitrag werden die neuen regionalen Reanalysen COSMO-REA6 und COSMO-REA2 des Deutschen Wetterdienstes bezüglich Ihrer Qualität und Ihres Anwendungspotentials im Bereich regenerativer Energien untersucht. Messdatenanalysen von vier hohen Windmasten zeigen, dass regionale im Vergleich zu globalen Reanalysen signifikant verbesserte Randverteilungen unterschiedlichster Größen aufweisen (z.B. Windgeschwindigkeit, vertikale Windscherung und zeitlicher Windrampen). Des Weiteren werden vertikal extrapolierte Windmessungen verglichen, um die Unsicherheit von Reanalysen hinsichtlich akzeptierter Unsicherheiten in der Standortbewertung zu bewerten. Hier zeigt sich, dass auch neue Reanalysen akzeptierte Unsicherheitsstandards (insbesondere in den gemeinsamen Verteilungen) in der Standortbewertung noch nicht erreichen können.

*Erkenntnisse aus 25 Jahren Windmessung am Standort Königshain in Mittelsachsen* (Eik Steinbach, Ingenieurbüro Kuntzsch GmbH)

Die Ingenieurbüro Kuntzsch GmbH betreibt seit 1992 am Standort Königshain im Landkreis Mittelsachsen einen Windmessmast mit anfangs 36 m, seit 1995 50 m Gesamthöhe. Verschiedene Auswertungen zeigen das langjährige Windklima am Standort, eine wesentliche Erkenntnis ist die stetige Abnahme der mittleren jährlichen Windgeschwindigkeit im Messzeitraum.

Die Messergebnisse wurden zum Test von acht verschiedenen MCP-Algorithmen (Measure-Correlate-Predict) zum Langzeitbezug von Messwerten aus kurzen Messzeiträumen verwendet. Es konnte jedoch kein Verfahren als geeignet identifiziert werden, da die verwendeten Referenzdaten (Reanalysedaten MERRA2 und EMD ConWx) wahrscheinlich die langfristige Ab-

nahme der mittleren Jahreswindgeschwindigkeit nur unzureichend abbilden können. Zur Untersuchung wurden Messwerte aus jeweils einem Jahr Messzeitraum (1996, 1997, ... , 2017) mit Hilfe eines MCP-Verfahrens unter Verwendung der Reanalyse-Daten auf den Referenzzeitraum 1998-2017 korrigiert. Die Ergebnisse der Langzeiteinordnung auf der Basis von Einzeljahren ergaben erhebliche Abweichungen von im Mittel 4 % der mittleren Leistungsdichte, die Spanne der Abweichungen reicht von einer Überschätzung von 3,9 % bis zu einer Unterschätzung von 11,3 %.

*Windenergieforschung mit kleinen unbemannten Forschungsflugzeugen* (Jens Bange, Eberhard Karls Universität Tübingen)

Kleine unbemannte Forschungsflugzeuge (UAS: Unmanned Aircraft Systems) gewinnen auch in der Windenergieforschung an Bedeutung als flexibel einsetzbares und preisgünstiges Messsystem. Im Vortrag wird eine UAS Klasse vorgestellt, die automatisch mit elektrischem Antrieb fliegt, mit einer Gesamtmasse deutlich unter 10 kg. Diese UAS vom Typ MASC (Multi-purpose Airborne Sensor Carrier) können auch bei sehr widrigen Umweltbedingungen (hohe Windgeschwindigkeiten, ausgeprägte Turbulenz) eingesetzt werden. Das Autopilotensystem gewährleistet dabei Pfad- und Höhengenaugigkeiten im Bereich weniger Meter. Dementsprechend nah können solche UAS an Windturbinen (WEA) sicher geflogen werden.

Um die An- und Umströmung von Windkraftanlagen in situ zu studieren, bietet sich der Einsatz von UAS in der Anströmung als auch im Abwindgebiet an. Da mittlerweile Flugdauern von 1,5 Stunden und mehr erzielt werden, kann mit einer Batterieladung ein Bereich von 1/4 bis 10 Rotordurchmessern vor und hinter der WEA mit feiner Höhenstaffelung abgedeckt werden. Neben Vertikalprofilen können so vor allem statistische Momente wie TKE (turbulente kinetische Energie) und Impulsflüsse berechnet, aber auch singuläre Effekte wie Blattspitzenwirbel untersucht werden. Im Vortrag werden Ergebnisse aus verschiedenen Forschungsprojekten des BMWi und dem Windenergieforschungsnetzwerk WindForS vorgestellt.

*Fluggestützte Messungen von Nachläufen hinter Offshore-Windparks* (Astrid Lampert, Technische Universität Braunschweig)

Im Rahmen des BMWi-Projekts WIPAFF (Windpark-Fernfeld) wurden 2016 und 2017 meteorologische Messflüge hinter Offshore-Windparks mit dem Forschungsflugzeug Dornier 128-6 der TU Braunschweig durchgeführt.

Das Flugzeug misst mit 100 Hz Windvektor, Temperatur und Luftfeuchte. Zusätzlich waren Fernerkundungs-Sensoren für die Oberflächen-Rauigkeit, Oberflächentemperatur sowie Kameras eingerichtet. Die Flüge fanden in Nabenhöhe der Windkraftanlagen statt. Die Daten belegen bei stabiler Schichtung Reichweiten der Windpark-Nachläufe bis über 45 km.

Die Projektpartner KIT Garmisch führten im Projekt numerische Simulationen der Nachlaufsituationen mit WRF durch, am Helmholtz-Zentrum Geesthacht wurden Satellitenbilder der Meeresoberfläche ausgewertet, UL beteiligte sich mit der systematischen Auswertung von Windlidar-Daten, die TU Braunschweig führte die Messflüge durch und wertete die fluggestützten Fernerkundungs-Daten aus, und die Eberhard Karls Universität Tübingen analysierte die fluggestützten Daten der meteorologischen Parameter.

*Aktivitäten und Entwicklungen des DWD im Bereich erneuerbare Energien* (Vanessa Fundel, Deutscher Wetterdienst)

Der Deutsche Wetterdienst (DWD) ist im Rahmen von zahlreichen Forschungsprojekten und Initiativen engagiert, um die Entwicklung und Optimierung von Wetter- und Klimainformation

für die Belange des Energiesektors voranzubringen. Dieser Beitrag gibt eine Übersicht über ausgewählte und für die Windenergiebranche besonders interessante Aktivitäten. Diese Arbeiten zeichnen sich durch einen engen Dialog zwischen Entwicklern und Endnutzern aus den Bereichen Netzbetrieb, Projektierung und Produktion aus und stellen so zielgerichtete Ergebnisse sicher.

Die Entwicklung und Bereitstellung von Klimatologien und langen Beobachtungsreihen fußt auf verschiedenen Methoden und dient den Analysen zu Standortbedingungen und meteorologischen Risikoabschätzungen.

Fokus der Aktivitäten in der numerischen Wettervorhersage ist die Weiterentwicklung der Ensemblevorhersagesysteme mit dem Ziel, Vorhersageunsicherheiten verlässlich zu quantifizieren. Konkret werden Methoden der Ensemble-Datenassimilation, stochastischer Physik und statistischer Ensemble-Kalibrierung getestet und implementiert. Diese resultierenden probabilistischen Vorhersagen wiederum sind Basis für Warnungen vor kritischen meteorologischen Situationen, die für einen sicheren Betrieb der Stromnetze und (Wind-) Erzeugungsanlagen unerlässlich sind.

Ein weiteres Ziel ist, saisonale Vorhersagen für den Energiesektor nutzbar zu machen und zusammen mit Leistungs- und Energiesystemmodellen in einen webbasierten Klimadienst für Endnutzer zu integrieren.



Abb. 1: Auditorium während eines Vortrags (©Astrid Ziemann).

*Struktur und Überblick: Projekt QuWind100 (Astrid Ziemann, Technische Universität Dresden)*

Die mittlere Nabenhöhe moderner Windenergieanlagen ist auf über 100 m angewachsen, um den Windenergieertrag an einem Standort zu optimieren. Mit hohen Anlagen können auch Gebiete mit einer erhöhten Unterlagenrauigkeit für die Windenergienutzung erschlossen werden, z.B. Wälder. Einfache Extrapolationsverfahren, wie das logarithmische Windprofil, sind für diese Nabenhöhen und für heterogene Umgebungsbedingungen von Anlagenstandorten nicht mehr anwendbar. Hier müssen tages- und jahreszeitenperiodische Einflüsse auf das Windfeld berücksichtigt werden, z.B. sogenannte Low-Level Jets.

Das Hauptziel der Forschungsarbeiten mit dem DWD und der EVO AG im Verbundprojekt QuWind100 (Quantitative Windklimatologie für Windenergieapplikationen in Höhen über 100 m) besteht deshalb in der Ableitung einer neuen klimatologischen Winddatenbank für Nabenhöhen zwischen 100 m und 200 m. Die mit einer innovativen Modellkette erstellte und eva-

lutierte Windklimatologie soll zu einer flächendeckenden Verbesserung der Genauigkeit der Ertragsschätzung von Windenergie in Deutschland führen. Ein dringender Bedarf an den Windkarten besteht u.a. bei den Bundesländern hinsichtlich ihrer Raumplanung beim Ausbau der Windenergie.

*Mesoskalige Klimamodellsimulationen und deren statistische Auswertungen als Antrieb für HIRVAC-Simulationen* (Tina Leiding, Deutscher Wetterdienst)

Im Rahmen des Verbundprojekts QuWind100 wurden statistische Auswertungen mesoskaliger Klimamodellrechnungen vom DWD als Antrieb für Simulationen mit dem 2D-Grenzschichtmodell der TU Dresden bereitgestellt. Diesen Statistiken liegen Simulationsrechnungen für Referenz- und Szenarienläufe mit dem COSMO CLM-Modell (Climate Limited-Area Modeling) des DWD und eines speziellen Landnutzung-Datensatzes des BBSR (Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung) zu Grunde. Basierend auf den Klimazeiträumen für 1981-2010 und 2021-2050 wurden Klimamittel für die Windgeschwindigkeit und Windrichtung sowie die Weibullverteilung auf dem 850-hPa-Niveau (geostrophischer Wind) berechnet. Die Auswertungen wurden sowohl für Jahresmittel als auch für die Jahreszeiten durchgeführt.

Die Projektergebnisse werden mit Messdaten einzelner hoher Messmasten als auch Intensivmesskampagnen mit einem SODAR an verschiedenen Standorten evaluiert.

*Numerische Untersuchungen zum Einfluss von Landnutzung und Topographie auf das Windfeld in Nabenhöhe* (Manuela Starke, Philipp Stahn, Technische Universität Dresden)

Im Rahmen des Projektes QuWind100 wurden zahlreiche numerische Untersuchungen zur Quantifizierung der Einflüsse von Landnutzung und Orographie auf das mikroskalige Windfeld in Höhen über 100 m durchgeführt.

Der Einfluss der Landnutzung wurde mit dem Grenzschichtmodell HIRVAC2D untersucht. Es zeigt sich u.a., dass das Auftreten von Low-Level Jets (LLJs) und deren Eigenschaften stark durch die Vegetation beeinflusst werden. So treten LLJs über Wiesenflächen deutlich häufiger und in geringerer Höhe auf, während sie über Wäldern seltener, dafür aber mit höherer Geschwindigkeit zu finden sind. Darüber hinaus zeigen Modellrechnungen mit inhomogen verteilter Vegetation, dass nicht nur die Dichte der Vegetation oder ihre Gesamtausdehnung, sondern auch deren Verteilung im Modellgebiet einen relevanten Einfluss auf die Windgeschwindigkeit in Nabenhöhe hat.

Die Simulationsrechnungen zum Einfluss der Orographie wurden mit dem Modell WiTraK durchgeführt. Untersuchungen mit einem isolierten Hügel haben gezeigt, dass Hügelhöhe und Anströmgeschwindigkeit das Windfeld in Nabenhöhe maßgeblich beeinflussen. Im Gegensatz dazu haben die atmosphärische Stabilität sowie die Breite des Hügels keinen Einfluss. Beispielfhaft wird demonstriert, wie die orographische Windbeeinflussung von der Anströmrichtung und von der gebietspezifischen Höhenvariabilität abhängt.