

## winDTwin

Wind Digital Twin for wind farm design, optimal operation, and predictive maintenance.

<b>Programm / Ausschreibung</b>	IWI 24/26, IWI 24/26, Basisprogramm Ausschreibung 2024	<b>Status</b>	laufend
<b>Projektstart</b>	01.09.2024	<b>Projektende</b>	31.08.2025
<b>Zeitraum</b>	2024 - 2025	<b>Projektlaufzeit</b>	12 Monate
<b>Keywords</b>			

### Projektbeschreibung

Die Notwendigkeit, die Kohlenstoffemissionen zu reduzieren, erhöht die Nachfrage nach erneuerbaren Energiequellen erheblich. Dies führt zu einem prognostizierten Wachstum des globalen Windenergiemarktes und stellt die Windenergiebranche in Europa vor neue Herausforderungen. Insbesondere müssen Fragen der Zuverlässigkeit und Wartung sowie der langfristigen Planbarkeit von großen Windparks und Offshore-Turbinen adressiert werden. Das übergeordnete Ziel besteht darin, die Effizienz zu steigern, den Anforderungen an eine vorausschauende Wartung gerecht zu werden, die Ausfallzeiten zu verringern und eine langfristige Bewertung der Wirtschaftlichkeit und Rentabilität von Windparks vorzunehmen.

Derzeit werden Windparks mit einem reaktiven Ansatz betrieben. Erst wenn sich die Wetterbedingungen geändert haben oder eine Störung oder ein Ausfall der Anlage aufgetreten ist, werden Korrekturmaßnahmen ergriffen. Dies schränkt den Planungshorizont der Instandhaltung erheblich ein und führt zu hohen Kosten, die durch notwendige Sofortmaßnahmen und Produktionsunterbrechungen verursacht werden. Unerwartete Ausfälle wirken sich auch stark auf die Vorsagen der Stromerzeugung aus und beeinträchtigen das Netzmanagement und den Energiemarkt. Außerdem behindert dieser Ansatz eine sinnvolle langfristige Planung und Auslegung von Windparks.

Das winDTwin-Projekt ist ein internationales Projekt von vier Konsortiumsmitgliedern, das darauf abzielt, diese Lücken bei den aktuell am Markt verfügbaren Instrumenten zu schließen, indem eine maßgeschneiderte digitale Zwillingplattform, ein Wind Digital Twin, der winDTwin, entwickelt wird.

Um den spezifischen Anforderungen beim Betrieb von Windparks gerecht zu werden, bewertet das winDTwin-Projekt aktuelle Lösungen und geht über den Stand der Technik hinaus, indem es Modelle entwickelt, die auf Tools der Künstlichen Intelligenz (KI) wie etwa Convolutional Neural Networks basieren. Der winDTwin wird Wetterbedingungen vorhersagen, Echtzeitdaten überwachen, Leistungsverluste erkennen und hochwertige Daten zur Unterstützung von Betriebs- und Wartungsentscheidungen von Windparks bereitstellen.

Eine digitale Zwillingplattform wie der winDTwin bietet einen Service, der mit manuellen Kontrollen der Windparkbetreiber nicht möglich ist. Zukünftige Windparks werden so konzipiert sein, dass sie digitale Zwillingsteuerungssysteme enthalten, um die Betreiber bei der Nutzung der Technologien der nächsten Generation zu unterstützen. Das winDTwin-Projekt geht

diesen Weg und unterstützt die Eigentümer und Betreiber von Windparks bei der digitalen Transformation, indem es vier Modelle erstellt, die die theoretische Grundlage des winDTwin bilden, und drei Analysewerkzeuge entwickelt, die den Betrieb von Windparks aktiv unterstützen.

Dabei ist UBIMET federführend bei der Konzeption und Entwicklung von zwei Modellen, dem Weather forecast model und dem Power Generation forecast model, und liefert ein grundlegendes Element von zwei Analysetools, den Decision Support Tools. Diese bilden die drei Hauptsäulen des Projekts und werden zum Weather and Power Generation Forecast Module des winDTwin zusammengefasst.

1. Das Weather Forecast Model ist der Kernbaustein des winDTwin. Es implementiert innovative KI-basierte Ansätze in die kurzfristigen Nowcasting-Algorithmen von UBIMET und wird die folgenden drei Hauptzwecke erfüllen:

a. Unterstützung der operativen Tätigkeiten: Meteorologische Parameter bilden die grundlegende Basis für den effizienten und zuverlässigen Betrieb von Windparks. Mit ausreichendem Wissen über die Wetterbedingungen kann der Betrieb von Windparks optimiert werden. Entscheidend ist die genaue Vorhersage der Windgeschwindigkeit an bestimmten Standorten in Abhängigkeit von Gelände und Orographie, die durch das Modell verbessert wird.

b. Verringerung der Auswirkungen von Unwetterereignissen: Das Modell wird den Lebenszyklus und die Entwicklung von Unwettersituationen wie Gewitter und Tornados kurzfristig mit hoher Genauigkeit vorhersagen. Dies verschafft Windparkbetreibern genügend Vorbereitungszeit, um Schäden an den Turbinen zu vermeiden, die Stromerzeugung zu optimieren und die Sicherheit des Personals zu gewährleisten.

c. Integration der prognostizierten Daten in andere Modelle und Instrumente: Die vom Modell gelieferte Wettervorhersage wird das Power Generation forecast model und das Health Informed Performance model sowie das Tool für Decision Support for Optimized Operation mit genauen kurzfristigen Wetterdaten ausstatten.

2. Der Power Generation forecast wird die potenzielle Windenergieproduktion abschätzen, die für ein effektives Netzmanagement sowie für den Energiemarkt und die Stakeholder entscheidend ist. Das neuartige, datengesteuerte, mehrdimensionale Modell wird die von UBIMET prognostizierten Windbedingungen, die vom Weather Forecast model bereitgestellt werden, mit der spezifischen Leistungskurve der einzelnen Windturbinen kombinieren. In dieser Synergie werden erstmals innovative Vorhersageansätze mit der genauen Turbulenzcharakterisierung von Windenergieanlagen und einer Beschreibung von Nachlaufeffekten in Windparks kombiniert. Durch die Berücksichtigung von mehr Faktoren als je zuvor wird eine Beziehung zwischen der Windgeschwindigkeit und der tatsächlich zu erwartenden Leistungsabgabe hergestellt, die ein Leistungsmodell mit bisher unerreichter Genauigkeit liefert.

3. Der Decision Support bietet die wichtigsten Informationen für Windparkbetreiber mit zwei Tools: 1) Planning & Design Decision support and 2) Decision Support for Optimized Operation. UBIMET wird Auswertungen über verschiedene Klimaszenarien, saisonale Prognosen und die zukünftige Verfügbarkeit von Windressourcen durchführen. Dadurch wird das Planungs- und Entwurfswerkzeug mit einer Trendanalyse für erwartete Schwankungen der Windmuster ausgestattet, um eine langfristige Bewertung der wirtschaftlichen Tragfähigkeit und Rentabilität des Windparks vorzunehmen. Im Tool für Optimized Operation werden diese langfristigen Analysen die kurzfristigen Wetterdaten und Leistungsschätzungen ergänzen, um eine ganzheitliche Optimierung des gesamten Betriebsprozesses des Windparks zu ermöglichen.

## **Endberichtkurzfassung**

The winDTwin project is developing an advanced digital twin platform for wind farms, structured around three core modules,

in which the following progress has been achieved in the first project period:

**Weather Forecast Model:** Integration of UBIMET's ML-based approaches with high-resolution ECMWF data significantly improved the spatial and temporal accuracy of wind and gust forecasts. Data assimilation experiments confirmed enhanced short-term prediction under dynamically unstable conditions, demonstrating technical feasibility and innovation beyond initial expectations.

**Power Generation Forecast Model:** Both physical and ML-driven models were advanced. Ensemble forecasts improved day-ahead prediction accuracy, while new neural network architectures with sigmoid activation functions enhanced the modeling of nonlinear turbine responses. Cost-oriented evaluation metrics optimized operational balancing, and park-independent model weights confirmed scalability across multiple wind farms.

**Decision Support Tools:** Preparatory work and alignment with relevant project partners were completed, establishing a foundation for future development of health-informed performance models.

Overall, substantial progress was made across all modules, with key milestones in meteorological precision, power forecast accuracy, and decision support readiness achieved, laying a strong groundwork for further integration and deployment.

## **Projektpartner**

- UBIMET GmbH