



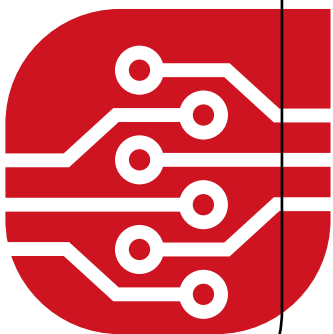
Superresolution von 10-Minuten Zeitreihendaten

Die Enercon IT-Service GmbH ist Teil der Enercon Holding und gehört zum führenden Hersteller von Onshore-Windenergieanlagen in Deutschland. Weltweit erfassen und archivieren die Systeme des Unternehmens Betriebsdaten aller installierten Enercon-Anlagen. Für die Analyse und Optimierung der Anlagenzustände sind diese Daten entscheidend – doch bislang wurden sie standardmäßig als 10-Minuten-Mittelwerte gespeichert. Für präzise Lastsimulationen, die Belastungen einzelner Komponenten berechnen, reicht diese Auflösung nicht aus. Erforderlich sind hochfrequente Daten im Sekundenbereich, insbesondere zu Windgeschwindigkeit und Turbulenzintensität. Ohne diese Detailtiefe bleiben wichtige Informationen über die tatsächlichen Belastungen der Anlagen verborgen. Das erschwert eine vorausschauende Wartung und führt im Ernstfall zu längeren Stillständen – mit wirtschaftlichen Einbußen und vermeidbaren Ertragseinbußen bei der klimaneutralen Stromerzeugung. Ziel des Projektes war daher, aus den vorhandenen 10-Minuten-Daten sekundengenaue Zeitreihen zu generieren, die für Lastsimulationen genutzt werden können. So sollte eine datenbasierte Grundlage für eine gezieltere und effizientere Instandhaltungsplanung geschaffen werden.



Die Lösung

Im Projekt wurde der Ansatz der „Superresolution“ auf Zeitreihendaten angewendet – also die Erhöhung der zeitlichen Auflösung durch Künstliche Intelligenz. Dafür wurden verschiedene Machine-Learning-Methoden getestet, darunter Time Series Imputation, Adversarial Autoencoder und ein KI-Modell, das Spektren der Zeitreihen statt der reinen Zeitwerte trainiert. Als Referenz für die Modellentwicklung dienten hochaufgelöste Windmessdaten aus dem Windenergie-testfeld WINSENT mit einer Auflösung bis zu 20 Hz. Nach intensiven Tests erwies sich der Adversarial Autoencoder als die leistungsfähigste Methode, um aus 10-Minuten-Mittelwerten plausible, hoch-



aufgelöste Zeitreihen zu generieren. Diese Daten bilden die Grundlage für realitätsnahe Lastsimulationen, die künftig Wartungszyklen optimieren und ungeplante Stillstände reduzieren können. Die Umsetzung erfolgte schrittweise: von der Konzeption und Auswahl geeigneter KI-Verfahren über den Proof-of-Concept bis zur Übergabe der Ergebnisse an Enercon IT-Service.

Das Ergebnis

Das Projekt hat gezeigt, dass sich mithilfe von KI aus grob aufgelösten Betriebsdaten feingranulare Zeitreihen ableiten lassen. Die Genauigkeit der aktuellen Modelle reicht für komplexe Lastsimulationen noch nicht vollständig aus, eröffnet aber wertvolle Perspektiven für den weiteren Einsatz in der Windenergiebranche. Mit einer Weiterentwicklung kann die Technologie branchenweit dazu beitragen, Anlagen effizienter zu betreiben, Wartungskosten zu senken und die klimaneutrale Stromproduktion zu steigern.

Nehmen Sie gerne Kontakt auf!

Unsere Ansprechpartnerin

Jessica Hofmann

Zentrum für Sonnenenergie- und Wasserstoff-Forschung Baden-Württemberg (ZSW)

jessica.hofmann@zsw-bw.de

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

Mittelstand-
Digital

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages