

Basisprogramm Balun

Enhancing Renewable Energy Forecasting for more efficient and intelligent energy systems

Programm / Ausschreibung	IWI 24/26, IWI 24/26, Basisprogramm Ausschreibung 2024	Status	abgeschlossen
Projektstart	15.05.2024	Projektende	30.06.2025
Zeitraum	2024 - 2025	Projektlaufzeit	14 Monate
Keywords			

Projektbeschreibung

Balun meistert eine universelle Herausforderung im Windenergiemanagement: die präzise Vorhersage der Stromerzeugung. Windturbinen, die weltweit nach den gleichen Prinzipien arbeiten, erfordern genaue Prognosen, um die Stabilität des Stromnetzes zu gewährleisten. Da Wetterbedingungen unvorhersehbar sind und direkten Einfluss darauf haben, wie viel Elektrizität zu einem gegebenen Zeitpunkt produziert werden kann, ergibt sich daraus die beträchtliche Schwierigkeit, die Stromerzeugung präzise zu prognostizieren. Wenn die tatsächliche Stromproduktion von den Prognosen, die an die Netzbetreiber übermittelt werden, abweicht – sei es mehr oder weniger –, zieht dies eine Gebühr für sogenannte Ausgleichsenergie (Imbalancekosten) nach sich. In der sich rasch entwickelnden Branche der erneuerbaren Energien in Europa stehen Onshore-Windenergieerzeuger vor einer jährlichen finanziellen Belastung von 472 Millionen Euro. Diese finanzielle Belastung resultiert aus Ungleichgewichten im Stromnetz, oft verursacht durch unpräzise Vorhersagen. Dies führt zu einer Reduktion des Ertrags von erneuerbarem Strom um etwa 10-15%.

Balun wird hochgenaue Stromerzeugungsprognosen für erneuerbare Energiequellen, insbesondere Windturbinen, entwickeln. Balun ist als Business-to-Business Software-as-a-Service (B2B SaaS)-Unternehmen konzipiert, um erneuerbaren Stromerzeugern, Route-to-market-Anbietern (Stromhändler) und großen Industriekunden dabei zu helfen, ihre Stromproduktion genau vorherzusagen. Durch den Einsatz modernster maschineller Lernmodelle analysiert Balun verschiedene Wetter-, Anlagen- und Energiemarktdaten, um präzise Prognosen für die Stromerzeugung auf stündlicher, täglicher, wöchentlicher und monatlicher Basis bereitzustellen. Es unterstützt Windpark-Besitzer und erneuerbaren Strom Händler bei der Verbesserung der betrieblichen Effizienz, indem es handlungsorientierte Informationen und Empfehlungen bietet.

Moderne Machine-Learning-Modelle besitzen nun die Fähigkeit, umfangreiche und neuartige Datenmengen in Echtzeit zu verarbeiten und dadurch präzisere Informationen zu liefern. Balun nutzt diese fortschrittlichen Modelle, um den großen, bisher wenig genutzten Pool von SCADA-Daten zu erschließen – Daten, die von den Sensoren an Windturbinen und Solarpanels stammen. Dies ermöglicht eine gesteigerte Genauigkeit und einen effizienteren Betrieb. Die Algorithmen von Balun verwenden neben den SCADA-Daten eine Vielzahl von Wetterdaten und Informationen aus dem Energiemarkt.

Dadurch können sie fein abgestimmte, auf die einzelnen Anlagen zugeschnittene Vorhersagen zur Stromerzeugung erstellen. Dies erlaubt es Unternehmen, ihre Stromproduktion mit hoher Genauigkeit für die nächste Stunde, den nächsten Tag, die kommende Woche oder sogar den folgenden Monat vorauszusagen.

Balun verfolgt das Ziel, eine tiefgehende Analyse zu schaffen, die nicht nur Einblicke gewährt, sondern auch konkrete Empfehlungen zur Leistungs- und Effizienzsteigerung ausspricht. Diese intelligente Lösung trägt aktiv dazu bei, Strafgeldern (Imbalancekosten), die durch ungenaue Energieprognosen entstehen (wie etwa bei Energieungleichgewichten), zu minimieren. Dies gewährleistet, dass Unternehmen in einem volatilen Markt wettbewerbsfähig und widerstandsfähig bleiben. Zudem unterstützt Balun mit seinem Service eine effizientere Netzsteuerung, ein Schlüsselement im Rahmen der andauernden Energiewende.

Innovative Funktionen und Techniken:

- Hyperlokalisierung und anlagenspezifische Prognose: Diese fortschrittliche Funktion nutzt SCADA-Daten, um das Energy Foundation Model (EFM) mit spezifischen Daten für jeden Windpark zu trainieren. Dies ermöglicht dem Modell, lokale Umwelteinflüsse und betriebliche Eigenheiten zu erfassen.
- Kombination von Live-Daten: Die Integration von Echtzeit-SCADA-Daten (alle 10 Minuten) mit aktuellen Wetterdaten steigert die Genauigkeit und Relevanz unserer Prognosen erheblich.
- Nutzung fortschrittlicher ML-Technologien:
 - o Transformer-Modelle (Typ von KI-Modellen) analysieren effektiv zeitliche Muster in Energiedaten.
 - o Transfer Learning passt breitere Wettermuster an die spezifischen Vorhersagebedürfnisse jedes Windparks an.
 - o Physics-Informed Neural Networks (PINN) integrieren physische Turbinenbeschränkungen und betriebliche Faktoren in unsere Modelle.
 - o Ensemble-Strukturen, wie Mixture of Experts (MEM), kombinieren verschiedene Modelle (wie XGBoost und Graph Neural Networks) für umfassendere und robustere Prognosen.
 - o Federated Learning erleichtert eine effiziente Datenverarbeitung, wobei lokale Trainings der Modelle zu jeder Turbine zu einem global optimierten Modell beiträgt.

Baluns EFM stellt einen bedeutenden Fortschritt gegenüber herkömmlichen Methoden der Energievorhersage dar. Es betont datengetriebene Genauigkeit, Standortspezifität und wendet modernste ML-Techniken an, um präzise und zuverlässige Energieprognosen zu liefern.

Entwicklungsziele:

Erste Generation (Jahr 1):

Forschungs- und Entwicklungsziele (1. Generation):

- Aufbau einer Daten-Engine zur Sammlung, Verarbeitung und Standardisierung von Daten.
- End-to-End-Cloud-Architektur und API für eine nahtlose Integration mit Kunden.
- Eine erste Version des Energy Foundation Modells (EFM), geeignete Struktur und Design des maschinellen Lernmodells.
- Entwicklung eines Prototyps für Machine-learning verstärkte Wettervorhersagen.

Resultierender Mehrwert für Kunden (1. Generation):

- Hochgenaue und maßgeschneiderte Prognosen für Onshore-Windparks, geliefert über das EFM: Basierend auf umfangreichen Datensätzen erzeugt das EFM präzise Vorhersagen für jede Stunde bis zu 36 Stunden im Voraus.
- Nahtlose Integration und nahezu Echtzeit-Lieferung: Baluns Plattform gewährleistet eine Live-Datenübertragung in die Cloud, mit Prognosen, die direkt über eine robuste API an Kunden gesendet werden.
- Verbesserte Genauigkeit mit ML-basierter Wettervorhersage: Integration von Wettervorhersagen, deren Genauigkeit durch

maschinelles Lernen verbessert wird, wodurch ein verbesserter Input-Stream erzielt wird.

- Vorhersage von netzdestabilisierenden Ausreißer-ereignissen: Separate Vorhersagen zur Antizipation netzdestabilisierender Ereignisse unter Verwendung fortschrittlicher statistischer Modelle zur Vorhersage seltener, aber einflussreicher Ausreißer (Einfrieren von Turbinen etc.).

Zweite Generation (Jahr 2-3):

Forschungs- und Entwicklungsziele (2. Generation):

- Sammlung großer Datenmengen um Effekte von Anlageportfolios zu untersuchen.
- Erweiterung des Energy Foundation Modells auf weitere erneuerbare Technologien (Solar, Hydro).
- Erweiterung des EFM zu Prognose von Netzbedarf und Netzflexibilität (Speicher etc.).
- Kontinuierliche Optimierung des EFM-Modells.

Resultierender Mehrwert für Kunden (2. Generation):

- Inter-Park-Synergieanalyse: Balun erhöht die Genauigkeit der Vorhersagen, indem es Portfolioinformationen über mehrere Parks hinweg analysiert und daraus Erkenntnisse ableitet, die die Vorhersagepräzision schärfen.
- Umfassende Windenergiebewertung: Das EFM bietet eine Gesamtbewertung der Windenergieproduktion und umfasst eine vollständige Analyse der gesamten Windenergieproduktion in einer Region.
- Prognose-erweiterung auf weitere erneuerbare Technologien: Baluns EFM auf zusätzliche erneuerbare Technologien (z. B. Solar) erweitert, um einen breiteren Ausblick auf die Energieproduktion zu bieten.
- Prognose der Nachfrageseite: Baluns EFM prognostiziert die Nachfrageseite des Netzes. Durch Prognosen zu Energieverbrauch und Speicherung, können Netzungleichgewichte vorher gesehen werden, was zu einem stabileren Netz führt.
- Kontinuierliches Neutraining: Durch regelmäßige Aktualisierungen entwickelt sich das Modell weiter und passt sich an sich ändernde Energiemuster und -trends an.
- Modellüberwachung: Gewährleistung der Uptime (kontinuierliches laufen), konstante Überprüfung von Leistungskennzahlen und Erkennung von Anomalien, um die Zuverlässigkeit der Vorhersagen zu garantieren.

Endberichtkurzfassung

The project successfully developed a robust machine-learning forecasting system tailored to renewable energy production, with a focus on wind energy. We built a fully operational data-processing infrastructure that standardized and integrated real-time SCADA and weather data from nine wind parks across Austria, totaling over 100 MW of installed capacity.

Our cloud-based system featured automated data pipelines, dynamic metadata management, and scalable APIs, enabling seamless data exchange with industry partners including all major windfarm operators in Austria.

Through rigorous testing of hundreds of machine-learning model variants, we validated that integrating SCADA data significantly enhances forecast accuracy, although the observed improvement (1-2%) was below our initial commercial targets (up to 20%).

We developed innovative Evaluation and Valuation tools, allowing partners to benchmark forecasts objectively and quantify financial impacts of forecast accuracy. These tools represent a valuable secondary outcome of the project, enhancing user understanding of forecasting quality.

Although the project's commercial continuation was not pursued due to market constraints, the technological and methodological innovations developed provide meaningful insights and foundational knowledge to the renewable energy forecasting community.

Projektpartner

- Balun Energy GmbH in Liqu.